

東京大学  
先端科学技術研究センター  
教授

中野 義昭

「人工光物性に基づく  
新しい光子制御デバイス」

研究期間：平成 11 年 1 月 1 日～平成 16 年 10 月 31 日

## 目次

1. 研究実施の概要 .....	1
2. 研究構想 .....	4
3. 研究成果	
3-1. チーム全体の成果 .....	8
3-2. 単原子層 MOVPE/集積プロセス技術の研究 (研究主担当： 東京大学 工学系研究科 霜垣幸浩) .....	10
3-3. 人工光磁性材料とスピinn機能光デバイス (研究主担当： 東京大学 工学系研究科 田中雅明) .....	18
3-4. 人工光物性に基づくデジタル光デバイスの研究 (研究主担当： 東京大学 先端科学技術研究センター 中野義昭) .....	31
3-5. 光物理と光システム (研究主担当： 情報通信研究機構 土屋昌弘) .....	51
3-6. 光ファイバハイブリッドデジタル光デバイスとシステム応用 (研究主担当： 東京大学 工学系研究科 山下真司) .....	57
4. 研究実施体制	
(1) 体制 .....	65
(2) メンバー表 .....	66
5. 研究期間中の主な活動	
(1) ワークショップ・シンポジウム等 .....	73
(2) 招聘した研究者等 .....	74

6. 主な研究成果物、発表等	
(1) 論文発表	75
(2) 口頭発表	
① 招待、口頭講演	80
② ポスター発表	106
(3) 特許出願	109
(4) 新聞報道・受賞等	
① 受賞	110
② 「デジタルフォトニクス」に関する啓蒙招待講演	110
(5) その他特記事項	111
7. 結び	112

## 1. 研究実施の概要

本研究では、半導体材料のマクロな光物性を一原子層単位で設計・制御されたミクロな人工結晶構造により変革し、電気光学効果、相互位相変調、四光波混合、磁気光学効果など、広義の光非線型性を飛躍的に高めること、ならびに、これら半導体人口光物性と半導体分布ブレーリング反射器やファイバーブラッジ格子鏡で構成される高度な光共振器／干渉計構造に基づいて、デジタル波長変換器、光 3R 中継器、光ロジック、光バッファーメモリなどの全光子制御デジタルデバイス／回路を実現し、デジタルフォトニクスの基礎を築くことによって光情報通信技術の発展に資することを目指した。

上記目的を達成するために、本プロジェクトでは五つの研究グループを編成して研究を実施した。第一のグループ（霜垣グループ）は、「単原子層 MOVPE／集積プロセス技術の研究」を担当した。有機金属気相エピタキシャル成長(MOVPE)による化合物半導体結晶成長において、ヘテロ界面の急峻性は、量子効果を活用したデバイスを作製する上で最も重要なプロセス制御因子である。ここでは分光エリプソメトリを用いた表面その場観察や、作製したヘテロ構造の X 線光電子分光(XPS)、二次イオン質量分析(SIMS)などによる組成分析、透過型電子顕微鏡(TEM)による構造解析などからヘテロ界面形成ガス切替シーケンスの最適化を検討した。また、MOVPE 成長層最表面に関する考察を深め、サブサーフェイスを考慮した界面形成モデルを構築した。また、シリコン酸化膜をマスクとして用いる面積選択 MOVPE 成長技術に関して検討を行い、広幅選択成長の成長速度分布を解析して表面反応速度に関する情報を抽出した。一方、反応器内のマクロな成長速度分布から製膜分子種の拡散係数に関する情報を得た。これらの解析から得た速度定数を基にして、面積選択成長における組成・膜厚のマスクパターン依存性を精密に予測することに成功し、本手法による光集積回路作製用計算機支援設計(TCAD)システム構築が可能であることを示した。

第二のグループ(田中グループ)は、「人工光磁性材料とスピinn機能光デバイスの研究」を担当した。本プロジェクトで得た主な成果は、InP 基板上に III-V 族ベース四元混晶磁性半導体 [(InGa)Mn]As をエピタキシャル成長することに成功したこと、[(InGa)Mn]As はきわめて大きな磁気光学効果をもつ (MCD ~ 400 mdeg) ことを示したこと、キュリー温度は 130 K に達することを示したことである。この値は、最近 GaMnAs で相次いで得られた高いキュリー温度(140 - 160K)に匹敵する値であって、今まで報告されている InMnAs や(InGaMn)As のキュリー温度の中では最高である。また、GaAs:MnAs ナノクラスター構造とその多層膜の関連では、GaAs 中に MnAs ナノクラスターが埋め込まれた構造を形成し、その構造や物性制御に成功し、III-V 族半導体ヘテロ構造との整合性がきわめて良好であることを示したこと、MnAs 微粒子サイズが 10nm 以下では室温では超常磁性、10nm 以上では強磁性的振る舞いを示すことを明らかにしたこと、室温で大きな磁気光学効果 (ファラデー回転角 0.4 - 0.8 deg/μm) を得たこと、GaAs:MnAs ナノクラスターと GaAs/AlAs 多層膜分布ブレーリング反射鏡(DBR)を組み合わせた多層膜を形成し、所望の波長 (この場合 0.98 μm 帯) の光を GaAs:MnAs 磁性層に閉じこめることによって (光の局在)，透過で磁気光学効果がきわめて大きくなることを示したことと言える。室温でのファラデー回転角は、単位膜厚換算で 4 deg/μm にも達し、この値は半導体材料の室温での磁気光学効果として最大である。さらに、半導体導波路型光アイソレータに関連して、GaAs:MnAs クラスターを用いた半導体導波路型光アイソレータの提案、解析を行い、TM モードに対して

119dB/cm 以上の消光比が得られることを理論的に予測したこと、TE モードに対して動作する導波路型光アイソレータの構造を初めて提案し、36dB/cm の消光比を理論的に予測したこと等が挙げられる。

第三のグループ(中野グループ)は、「人工光物性に基づくデジタル光デバイスの研究」を担当した。半導体量子構造のエンジニアリングを通じて半導体媒質の光物性を変革し、それを利用して光デバイスの性能を飛躍的に高めること、およびそれに基づき新たな全光制御デバイス(デジタルフォトニックデバイス)を提案、試作開発することにつき、研究を行った。具体的には、量子井戸電界吸収光非線型性を利用した全光制御デバイス、MOVPE による AlN/GaN 多重量子井戸サブバンド間遷移全光スイッチ、量子構造を利用した半導体レーザの制御、全光論理ゲートの試作開発、全光フリップフロップの試作開発、半導体能動導波路型光アイソレータの提案と試作、の各項目につき研究を行った。その結果得られた主要な成果は、AlN/GaN 多重量子井戸 サブバンド間遷移全光スイッチに関連して、MOVPE 窒化物サブバンド間遷移で世界最短波長( $2.3\mu\text{m}$ )を得たこと、ICP エッチングによる低損失なハイメサ光導波路の作製に成功したこと、半導体光アンプ(SOA)集積マッハツェンダー干渉計型全光論理ゲートに関連して、一回の MOVPE 選択成長による作製に成功したこと(世界初)、試作素子において消光比 20dB の全光スイッチ動作を得たこと、スイッチングウインドウ 28ps の高速動作特性を実証したことである。さらに、方向性結合器(DC)および多モード干渉結合器(MMI)双安定半導体レーザ型全光フリップフロップに関連して、全光セットリセットフリップフロップ動作に成功したこと(世界初)、 $-10\sim0\text{dBm}$  の低エネルギー動作が得られたこと、同素子を用いて 10ns から 200ns へのビット長変換動作実証を行ったこと、が挙げられる。また、半導体能動導波路型光アイソレータに関しては、半導体導波路における非相反損失シフトの観測に成功したこと(世界初)、アイソレータプロトタイプの試作を行い $\pm 1\text{kG}$  の磁場印加で 9.3dB/mm の非相反損失を得たこと、が特筆される。

第四のグループ(土屋グループ)は、「光物理と光システムの研究」を旨とし、将来のフォトニックネットワークに含まれ得るシステムやデバイスに注目し、他グループで行なわれているデバイス試作研究や物性研究に対して、システム応用的見地から指針を与えることを目的とした。具体的には、超短光パルスの発生と DWDM 通信への応用、顕微ラマン分光法による光通信用光素子および材料の解析、モード同期半導体レーザの物理と応用、電気光学・磁気光学プローブを用いたマイクロ波・ミリ波回路計測技術、光ファイバ内パラメトリック過程の解明と応用、光ファイバ無線技術、シリコンフォトニクスへの展開、の各項目について研究を行い、所期の成果を得ている。

第五のグループ(山下グループ)は、「光ファイバハイブリッドデジタル光デバイスとシステム応用」を担当した。高効率・広帯域光ファイバ波長変換器を研究し、信号光にも励起光と同期した変調をかける同期位相変調法という新しい波長変換技術を発明した。この技術では、波長変換光の位相項が励起光・信号光の位相によって決定されることを利用し、励起光と同時に信号光にも変調によるスペクトル拡散法を適用し、更に 2 变調信号間を同期させることで、最終的に波長変換光の位相における時間変動項をキャンセルし、スペクトル広がりを抑圧することができた。さらに、この波長変換器を中間点スペクトル反転(MSSI)法による光ファイバ波長分散補償に用いた 10Gb/s、200km 単一モード光ファイバ(SMF)伝送システム実験を行い、従来方式に比べて変換効率が向上した分だけ雑音特性も向上することを示した。また、ファイバー

ブレーリンググレーティング(FBG)を用いて1つの位相変調器を双方で使う新しい構成を提案した。この構成は位相変調器を減らせるのみならず、位相変調の深さを2倍にできるという利点も持ち、更なる変換効率の向上が期待できる。実験により、励起光パワーを+23dBmまであげることができ、変換効率を5.5dBまで上げることができた。また、これをMSSI法による光ファイバの波長分散補償に用いたシステム実験を行い、10Gb/sで200km以上のSMF伝送に成功した。超広帯域・高密度光ファイバグレーティングの研究では、グレーティングが書き込まれていない部分に一様な紫外光を照射して多点位相シフト(Multiple phase shift, MPS)を与えることにより、数cmの長さのままでSSFBGを高密度化する画期的な技術を開発した。多点位相シフト法はスーパーストラクチャ(SS)FBGの適切な場所に位相シフトを与えたもので、SSFBGの全長を維持したままチャネル間隔を高密度化できる。提案したMPS法を実験により実証した。さらに、UV光照射の代わりに熱光学効果を利用することにより可変にする研究も行った。他方、全光型半導体再生中継器に関しては、半導体レーザの注入同期現象の閾値を調節することにより、波形が劣化した強度変調光を波形が等化された周波数変調光に変換し、さらに狭帯域光フィルタにより波形が等化された強度変調光を得ることに成功した。また、光フィルタリングが容易だと考えられるサイドモード注入同期法による波形再生器についても研究を行った。さらに高速化を狙うために、2サイドモード注入同期法を提案し、実験により5Gb/sのランダムパターン信号の波形整形に成功した。多波長光ファイバレーザに関しては、波長間隔が可変な多波長Erドープ光ファイバレーザを世界で初めて実現した。偏波維持光ファイバ中のモード結合を利用して、これと偏光子を組み合わせて波長間隔可変フィルタを構成した。エルビウムドープ光ファイバを液体窒素で冷却する、あるいは音響光学変調器を用いた周波数シフトレーザ構成にすることで、多波長動作を実現した。また短パルス発生のためにモード同期技術と多波長技術とを組み合わせて、多波長モード同期光ファイバレーザを実現した。最後に、カーボンナノチューブ(CNT)を用いたモード同期光ファイバレーザの研究を行い、可飽和吸収体としてCNTを用い、さらに利得が非常に高い光ファイバ(長さ2cm)と、高反射光ファイバミラーとの組み合わせにより、高繰り返し周波数(~5GHz)受動モード同期光ファイバレーザを実現した。繰り返し周波数5.18GHz、パルス幅0.68psecの安定なパルス列を生成することに成功し、同時に100fs以下の低ジッタ特性が得られていることを確認した。最近ではさらに、共振器長を1cmにまで短縮して10GHzのパルス列を発生することにも成功した。

上記の研究成果により、当初研究計画は概略達成されたものと考えている。ただし、ミクロ電子波とマクロ光物性をリンクするシミュレーション・設計技術開発に関しては、デバイス試作実証を優先した結果、必ずしも当初計画通りに進まなかつたことが反省点として挙げられる。

以上の通り、ロバストかつスケーラブルなフォトニックネットワーキングを可能にする基本デジタル光デバイス群の提案と試作実証を行い、デジタルフォトニクスの基盤を構築することができたと考えている。具体的には、デジタルフォトニクスの根幹となる要素デバイス、即ち光論理ゲート、光フリップフロップ、集積化光アイソレータの開発に目途を立てることができ、またシステム応用の観点からもアセスメントが行われた。本研究により形成された知的資産は、電子と同程度に高度な光子の操作を可能にする、光子制御の原理とそのデバイスが明らかになったことである。

今後は、得られた光非相反導波路を武器に、単原子層界面制御／集積プロセス技術を磨いてデジタル光デバイスのモノリシック集積回路化を進め、ネットワーキングに必要な機能を実現

して行く段階に入って行く。冒頭に記載した通り、21世紀のグローバル光情報通信インフラストラクチャの構築に必要な光子制御デバイス群の提供を通じて、広く国際社会に貢献することができるものと期待している。

## 2. 研究構想

### [背景・目的]

光情報通信網（フォトニックネットワーク）は、21世紀初頭の最重要的社会基盤（インフラストラクチャ）となる。その構築に向けて、欧米や日本で研究開発が急ピッチで進められている。しかし、フォトニックネットワークの具体化計画が進むにつれて明らかになってきたことは、その構成要素である光デバイスに、機能が決定的に不足していることである。例えば、光の高速性を活かすには、制御信号自体も光にする必要があるが（全光制御）、光-光制御を可能とする実用的なデバイスはほとんど存在しない。光パケット通信を行うのに必須の光バッファーメモリで、実用に耐えるものも存在しない。このような状況のもと、本研究の目指すところは、従来になく高度／多様な光子制御を可能とする新しい光デバイスを研究・開発し、タイムリーに社会へ提供して行くことにあった。具体的には、半導体材料のマクロな光物性を一原子層単位で設計・制御されたミクロな人工結晶構造により変革し、電気光学効果、相互位相変調、四光波混合、磁気光学効果など、広義の光非線型性を飛躍的に高めること、ならびに、これら半導体人口光物性と半導体分布プラグ反射器やファイバプラグ格子鏡で構成される高度な光共振器／干渉計構造に基づいて、デジタル波長変換器、光3R中継器、光ロジック、光バッファーメモリなどの全光子制御デジタルデバイス／回路を実現し、デジタルフォトニクスの基礎を築くことによって光情報通信技術の発展に資することを目指した。

### [全体計画]

半導体極微細構造に現れる量子効果の数々は、半導体レーザをはじめとする光デバイスの特性と密接に関連していて、量子効果の導入によりこれら光デバイスの性能が向上するケースが多い。しかし同時に、例えば偏光依存性など、重大な問題を引き起こすこともあるではない。量子効果の応用にあたっては、効果・作用を十分に理解し、その長所を最大限引き出しつ短所を極小化する「構造設計」を行う必要がある。また、原子レベルで設計された極微細構造が均一に再現性よく作製できるものなのかどうかについても冷静に吟味する必要がある。ここでは、半導体ヘテロ構造の原子レベルの「エンジニアリング」を通じてミクロ電子定在波を制御し、その結果光物性に質的変化をもたらして、半導体発光・光変調・光スイッチデバイスの性能を格段に向上する。さらに、全光制御、波長変換、光バッファーメモリ、光アイソレータなど、システム構築上強く求められているが従来の延長では実現の難しい高度機能を果たす新光デバイス群を、人工光非線型性に基づいて創成、試作実証する。それにあたっての共通基盤技術と考えられるのは、☆單原子層で切り替わる理想的界面急峻性を確保した原子層エピタキシ一技術、☆低損傷なナノメータオーダの微細加工技術、☆ミクロ電子波とマクロ光物性をリンクするシミュレーション・設計技術である。本プロジェクトの年限内に、これら共通基盤技術を整備し、以下のアプローチによって研究目的を達成せんとした：

## ☆マテリアル

基板：主にInP，副としてGaAs

エピタキシャル層III族材料：In, Ga, Al

エピタキシャル層V族材料：P, As, N

構造：圧縮／伸張歪み変調ポテンシャル量子井戸／超格子，歪み量子細線

## ☆結晶成長方法

In-situモニター・モノレイヤアラフトMOVPE

有機金属気相拡散選択エピタキシー (MOVE)

分子線エピタキシー(MBE)

## ☆光物性制御方法

量子マイクロ構造における一原子層単位のポテンシャル設計・制御

## ☆材料・プロセス関連の具体的研究課題

As/P系, Al系単原子層MOVPEと光物性評価

N系単原子層MOVPEと光物性評価

スピニ機能・非相反性材料，磁性半導体のMBEと光物性評価

磁性半導体ヘテロ構造，強磁性金属／半導体ヘテロ構造のMBE

N系，スピニ機能材料のサイクリックMO-RIBE

人工結晶構造の計算機支援設計技術

## ☆デバイス関連の具体的研究課題

方向性結合半導体光増幅器(DCSOA)

チャーブトグレーティングDFB SOAによる光メモリ

非対称3重結合量子井戸 負チャーブ電界吸収光変調器

光誘起導波路型デジタル光-光スイッチ

人口結晶光非線型性に基づく干渉計型全光スイッチ

集積光アイソレータ

分周ハイブリッドモード同期超高速光クロック発生器

サブバンド間遷移に基づくデジタル全光スイッチ

ファラデー効果による磁界制御光スイッチ

キャリア誘起磁気結合による光不揮発性メモリ

## ☆回路・システム関連の具体的課題

注入同期DFBレーザとFBGによる波形整形回路

DCSOAによる全光デジタル波長変換実証実験

DFB SOAによる全光フリップフロップ実証実験

全光3R中継器回路実証実験

全光TDM MUX/DEMUX回路実証実験

また、この目標を達成するために、以下の5つの研究グループを編成した：

(1) 中野グループ

グループリーダ：中野 義昭（研究代表者）

役職（発足当初）：東京大学 工学系研究科 電子工学専攻 助教授

現職：東京大学 先端科学技術研究センター 教授

役割分担：人工光物性に基づくデジタル光デバイスの研究

(2) 霜垣グループ

グループリーダ：霜垣 幸浩（共同研究者）

役職（発足当初）：東京大学 工学部 マテリアル工学科 助教授

現職：東京大学 工学系研究科 マテリアル工学専攻 助教授

役割分担：単原子層MOVPE／集積プロセス技術の研究

(3) 田中グループ

グループリーダ：田中 雅明（共同研究者）

役職（発足当初）：東京大学 工学系研究科 電子工学専攻 助教授

現職：東京大学 工学系研究科 電子工学専攻 教授

役割分担：人工光磁性材料とスピニ機能光デバイスの研究

(4) 土屋グループ

グループリーダ：土屋 昌弘（共同研究者）

役職（発足当初）：東京大学 工学系研究科 電子工学専攻 助教授

現職：総務省 情報通信研究機構 光基礎技術部 グループリーダ

役割分担：光物理と光システムの研究（超高速デジタル光デバイス、光クロックデバイスの研究）

(5) 山下グループ

グループリーダ：山下 真司（共同研究者）

役職（発足当初）：東京大学 新領域創成科学研究科 基盤情報学専攻 助教授

現職：東京大学 工学系研究科 電子工学専攻 助教授

役割分担：光ファイバハイブリッドデジタル光デバイスとシステム応用

上記の研究開発計画を、研究開始当初に図示したのが、図1である。一方、同じ図を終了時点での実績を基に改訂したのが図2である。これから分かる通り、呼称の変更、新展開から生まれた課題の追加は見られるものの、全ての項目に渡り当初計画は概ね達成されたと考えている。

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
回路・システム	注入同期DFBレーザとFBGによる波形整形回路(Y) DFBレーザを用いた極短光パルス発生(Ts,N) 4光波混合全光波長変換(Y, N) 超高速EO/MO計測技術の開発(Ts)		全光3R中継器回路実証実験(N,Ts,Y)			
デバイス	FP SOA型デジタル全光波長変換器(N) DFB SOA型全光フリップフロップ(N,K)	N系サブバンド間遷移デジタル全光スイッチ(N,K)		ファラデー効果による磁界制御光スイッチ(Ta,N) ACTQW EAデジタル全光制御デバイス(N,K)		
材料・プロセス	As, P, Al系単原子層MOVPE(N,S,K) N系サイクリックMO-RIBE(S,N) 強磁性体／半導体複合多層膜構造MBE(Ta,K) 人工結晶構造の計算機支援設計技術(N,K)	N系単原子層MOVPE(N,S,K)		集積光アイソレータ(Ta,N) 磁性半導体ヘテロ構造MBE(Ta,K)		

図1 プロジェクト発足当初の研究年次計画

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
回路・システム	全光型半導体再生中継器 高速高感度波形再生技術の開拓 WDM用多波長光ファイバレーザ 超広帯域光利得生成技術の開拓 超短光パルス発生技術の開拓	高効率・広帯域光ファイバ波長変換器	全光3R中継器回路実証実験 カ-ボン/チ-ブ受動モト同期光ファイバ-レ-ザ			
デバイス	FP/DFB SOA型デジタル 全光波長変換器	MQW EA/SOAデジタル全光論理デバイス DC BLD型全光フリップフロップ AI系ATCQW EA光変調器・MZIスイッチ InAsP歪量子細線利得結合DFBレーザ	N系サブバンド間遷移デジタル全光スイッチ MMI BLD型全光フリップフロップ GaAs:MnAsナノクラスター半導体導波路型光アイル-タ 半導体導波路型光アイソレータ			
材料・プロセス		N系単原子層界面MOVPE 光集積化に向けた選択MOVPEとマクロリアクタ解析 As, P, AI系単原子層界面MOVPE サイクリックECR MO-RIE GaAs:MnAsナノクラスター構造 人工結晶構造の計算機支援設計技術	GaAs:MnAsナノクラスター半導体導波路型光アイル-タ III-V族ベース4元混晶磁性半導体			

図2 プロジェクト終了時の研究実績

### 3. 研究成果

#### 3. 1 チーム全体の成果

##### [チームとして達成した成果]

ロバストかつスケーラブルなフォトニックネットワーキングを可能にする基本デジタル光デバイス群の提案と試作実証を行い、デジタルフォトニクスの基盤を構築することができたと考えている。具体的には、本研究の結果、集積回路化して使える光論理ゲート、光フリップフロップ、集積化光アイソレータが獲得されたことがチームとして達成した大きな成果と言える。この成果は、以下に例示する連携があつてはじめて為し得たものである：

##### ☆ MOVPE選択成長のメカニズム解明と光論理ゲートデバイス試作の連携

霜垣グループのMOVPE選択成長メカニズム解明研究の成果により、光論理ゲートデバイスを一回の結晶成長で作製するためのマスクパターンの設計が可能になり、その結果、中野グループによる半導体光アンプ(SOA)/位相変調器集積化全光論理ゲートの試作開発という成果に結実した。

##### ☆ 反応性イオンエッチングメカニズム解明とハイメサ光導波路試作の連携

霜垣グループの反応性イオンエッチング研究の成果を受けて、後年度の中野グループInGaAsP光アイソレータ用ハイメサ導波路およびサブバンド間遷移光スイッチ用窒化物ハイメサ導波路の試作が可能になった。

##### ☆ 光磁気効果材料の研究と光アイソレータ試作の連携

田中グループの磁性半導体研究および光アイソレータ理論研究を基にして、中野グループのTEモード半導体能動導波路型光アイソレータの試作開発が可能になった。

##### ☆ MOVPE単原子層急峻界面の研究とサブバンド間遷移光デバイス試作の連携

有機金属気相エピタキシャル成長(MOVPE)により単原子層急峻なヘテロ界面を得る研究(霜垣グループ)を基礎に、中野グループのGaN/AlN多重量子井戸形成が行われ、MOVPEでは従来実現困難と言われていた数原子層のGaN量子井戸の試作に成功して、MOVPEサブバンド間遷移の最短波長を記録した。

##### ☆ 光論理ゲートデバイスを用いたTDM DEMUX実験における連携

中野グループで試作した光論理ゲートデバイスの超高速動作を検証し、TDM DEMUXを実証するのに、土屋グループ開発の超短光パルス発生と山下グループの光ファイバー伝送試験ノウハウが活用された。

##### ☆ 光フリップフロップを用いたビット長変換実験における連携

中野グループで試作した光フリップフロップを用いてビット長変換実験を行うにあたり、山下グループの光ファイバー伝送評価設備およびノウハウが活用された。

☆ ファイバーブラッギング試作実験における連携

山下グループのファイバーブラッギング試作にあたり、中野グループがMOV PEに関連して保有する水素ガス操作ノウハウ・保安設備が活用された。

研究チーム内の共同・協力が有効に機能してチーム全体の顕著な成果が得られたことは誠に幸いであった。

チーム全体で目指した「デジタルフォトニクス」は、本プロジェクトが新規に開拓している分野であって国内外に類似研究は少ない。従って引用回数で評価するのは尚早と思われる。半導体光デバイスに基づく全光論理ゲートおよび全光フリップフロップの研究は、東京工業大学において行われている。また、光バッファーメモリの研究は、面発光レーザアレイに基づくものが、山形大学で行われている。また半導体光アンプの相互利得変調を中心とした全光ロジックの研究は、韓国科学技術院(KIST)で盛んである。本プロジェクトの研究成果は、これらの研究に少なからず影響を及ぼしており、今後デジタル光情報処理技術が進歩して行く中で、その基本を提示したプロジェクトとして評価されて行くものと考えている。また半導体導波路型光アイソレータの成果は、2004年9月に行われたIEEE国際半導体レーザ会議(隔年)でポストデンドライン論文のトップに採択され、注目を集めた。その後、JJAPで最もインパクトのある成果を掲載するExpress Letterセクションに採択され、11月12日に出版されたところである。

[今後の展開・波及効果]

本プロジェクトを引き継ぐSORSTプロジェクトでは、得られた光非相反導波路を武器に、単原子層界面制御／集積プロセス技術を磨いて、デジタル光デバイスのモノリシック集積回路化を進めて行く予定である。フォトニックネットワークの進展は、静的接続の光クロスコネクトから始まり、動的接続の光バーストスイッチング、より粒度の細かい光パケットスイッチングへと進化していく。光バーストスイッチングは、当初は光ラベルを電気的に処理する方式から始まると予測されるが、高速化とともに全光ラベル処理が必須になる。その段階から、本研究で標榜したデジタルフォトニクスが本格的に利用されるようになろう。次のステップの光パケットスイッチングでは、光ラベルの処理やデータのバッファリングなどに、デジタルフォトニックデバイスが普く使われると予想される。その時代には、ストレージエリアネットワークなどのエンタープライズネットワークでもシンプルな光ラベルが利用される可能性が高く、デジタルフォトニックデバイスの活躍の舞台がワイドエリアネットワークからローカルエリアネットワークに拡大するであろう。このように、デジタルフォトニクスは21世紀光情報通信ネットワークの原動力として、広く国際社会に貢献することが期待される。

### 3. 2 単原子層 MOVPE／集積プロセス技術の研究（霜垣グループ）

#### (1) 研究成果の内容

##### 1. 概 要

有機金属気相エピタキシャル成長(MOVPE)による化合物半導体結晶成長において、ヘテロ界面の急峻性は、量子効果を活用したデバイスを作製する上で最も重要なプロセス制御因子である。本研究では分光エリプソメトリを用いた表面その場観察や、作製したヘテロ構造の XPS, SIMS などによる組成分析、TEM による構造解析などからヘテロ界面形成ガス切替シーケンスの最適化を検討した。また、MOVPE 成長層最表面に関する考察を深め、サブサーフェイスを考慮した界面形成モデルを構築した。

また、 $\text{SiO}_2$  をマスクとして用いる面積選択 MOVPE 成長技術に関して検討を行い、広幅選択成長の成長速度分布を解析して表面反応速度に関する情報を抽出した。一方、反応器内のマクロな成長速度分布から製膜分子種の拡散係数に関する情報を得た。これらの解析から得た速度定数を基にして、面積選択成長における組成・膜厚のマスクパターン依存性を精密に予測することに成功し、本手法による光集積回路作製用 TCAD システム構築が可能であることを示した。

### 2. 単原子層 MOVPE プロセスの構築

#### 2. 1 GaAs/InGaP ヘテロ界面の V 族原子組成分布急峻化

光制御デバイスに重要な GaAs/InGaP/GaAs ヘテロ界面を MOVPE にて作製する際には、図 1 に示すガス切り替えシーケンスが一般的に用いられる。例えば、GaAs 成長から InGaP 成長に切り替えるには、III 族原料の TMGa (トリメチルガリウム) 供給を停止し、GaAs 成長を終了させ、V 族原料である TBA<sub>s</sub> (ターシャリブチルアルシン) をしばらく流した後に、TBA<sub>s</sub> 供給も止める。次に InGaP 用 V 族原料である TBP (ターシャリブチルfosfin) の供給を開

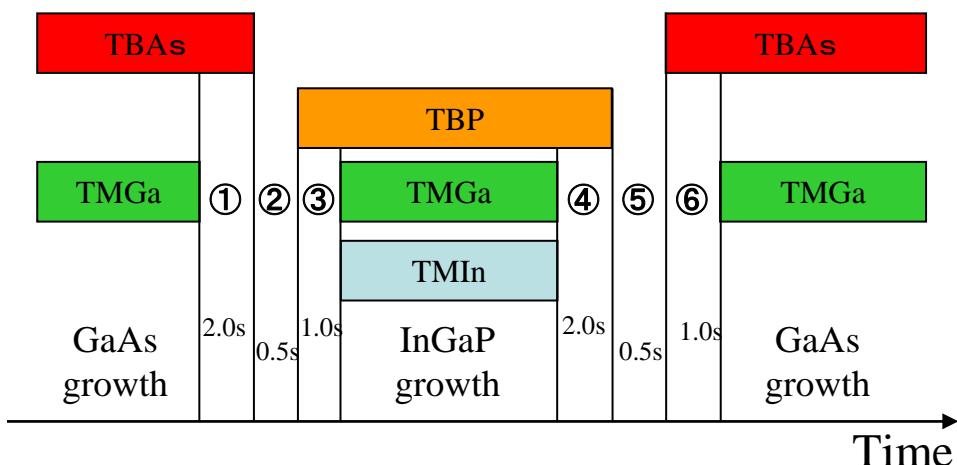


図1 MOVPE による GaAs/InGaP/GaAs ヘテロ界面形成における標準的なガス切替シーケンス

始し、しばらくしてから TMGa と TMIn を供給して InGaP 成長を開始する。図中に示した①の時間は表面で Ga が過剰に存在して Ga ドロップレットを形成しないようにするための時間であり、TBA sだけを供給することによって表面に過剰に存在していた Ga を確実に GaAs として結晶化させる意味がある。②はガスの混在を防ぐための時間、③は InGaP 成長において In や Ga が確実に P と化合するよう P を予備供給しておくものである。同様に、④の時間は InGaP 成長を停止後、III 族原子が確実に V 族原子と反応するための時間であり、⑤はガスの混合を防ぐための時間、⑥は次の GaAs 層を形成するための準備である。このとき、①の時間中に過剰に供給される As は表面に残存して後から成長する結晶中に混在し、また、④の時間中に予備供給される P は先に成長した GaAs 結晶内へ拡散する。これらの V 族原子の振る舞いは、As-P 置換を引き起こして界面組成の急峻性を損なう原因となる。さらに②や⑤の時間は短すぎればガス混合などによる界面劣化を引き起こすが、長すぎれば V 族の再脱離を招き、結晶の劣化につながる。なお、図 1 に記載した各ステップの長さ（時間）は本研究で使用している MOVPE 装置（AIXTRON 社製 AIX-200/4）の標準レシピとして供給されていたものであり、最適化されていないものである。

本研究では、MOVPE 成長において分光エリプソメトリを用いたその場観察により、ガス切り替え手順および各ステップの時間長さの最適化を行った。この界面形成の問題点（難しさ）は下記の 2 点に集約される。

- 1) GaAs 成長中には表面に過剰な As が存在し、この As は脱離しにくい。そのため、InGaP 成長に As が取り込まれやすい。
- 2) P は As よりも小さいために、GaAs 内に簡単に拡散侵入し、GaP を形成する。

このように V 族原子の振る舞いに着目すると、GaAs 層形成後に InGaP 層を形成する際のガス切替シーケンスには大きな改善が必要となり、逆に InGaP 層の上に GaAs 層を形成するシーケンスは、時間の最適化だけで対処できることが予想される。GaAs 上の InGaP 形成に対しては、我々は図 2 に示す新たなシーケンスを考案した（特許申請済み）。すなわち、過剰な As に対しても、TMGa を追加供給する（図 2-②に相当）ことによってターミネートし、P の GaAs

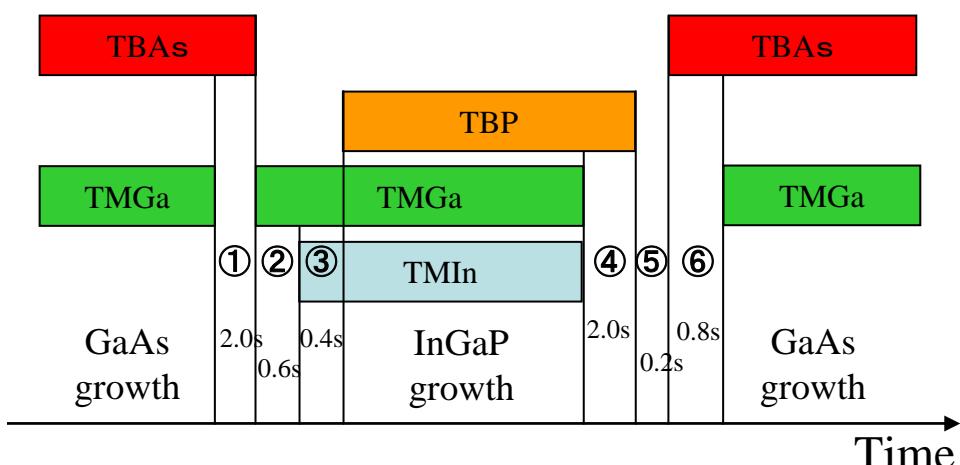


図 2 V 族原子の界面急峻性を最適化したガス切替シーケンス

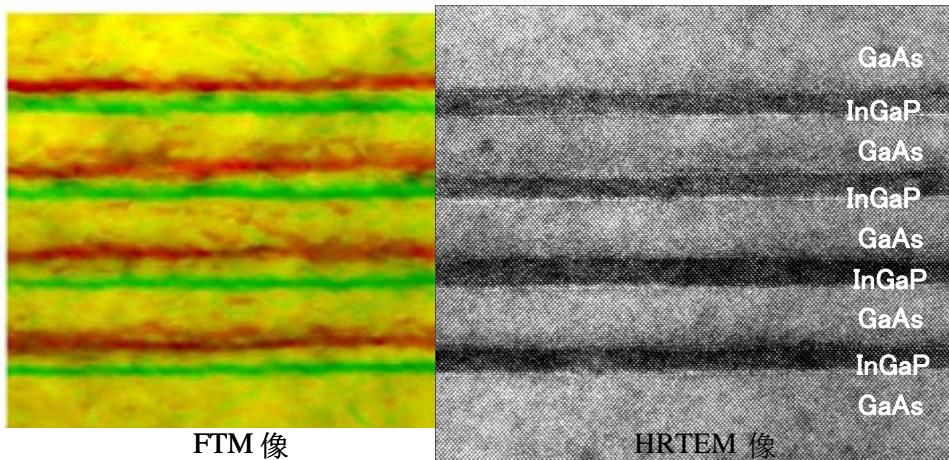


図3 V族最適化シーケンスにより作製したGaAs/InGaPヘテロ構造の高分解能TEM写真とFTM解析結果

内への拡散に対しては最初にInGa レイヤーを作製することによってP の拡散バリアとするこ<sup>ト</sup>を意図している(図2-③に相当)。また、これらの切り替え時間は分光エリプソメトリによりV族原子の吸着・脱離に伴う変化を観測して決定した。最適化シーケンスを用いて作製したサンプルを高分解能X線回折(HR-XRD)および透過電子顕微鏡(TEM)を用いて観測した結果、界面急峻性の飛躍的改善を確認することができた。

## 2. 2 In原子の表面・界面偏析とその制御

先に図2に示したシーケンスにより作製したGaAs/InGaPヘテロ構造の高分解能TEM写真をFTM(Fourier Transform Mapping)した結果と一緒に図3に示す。図3のFTM像は、格子ひずみの縦方向の分布を表しており、明瞭にInGaP上のGaAs層内にInGaP界面から格子の伸張ひずみがあることが分かる。これは、InGaP層からInがGaAs層内に拡散あるいは偏析していることに由来すると考えられる。従来、化合物半導体のヘテロ界面では、前節のようにV族原子の相互拡散が問題となっていたが、III族原子の分布が問題となったのは新しい知見であった。

このInの偏析・拡散状況をより詳細に解析するため、XPSを用いた解析を試みた。XPSはX線を照射し、各元素から放出される光電子を検出する分析手段であるが、このときX線は資料の表面から数μmの深さまで進入するのに対し、光電子は数nmしか脱出深さを持たないために表面の局所的な分

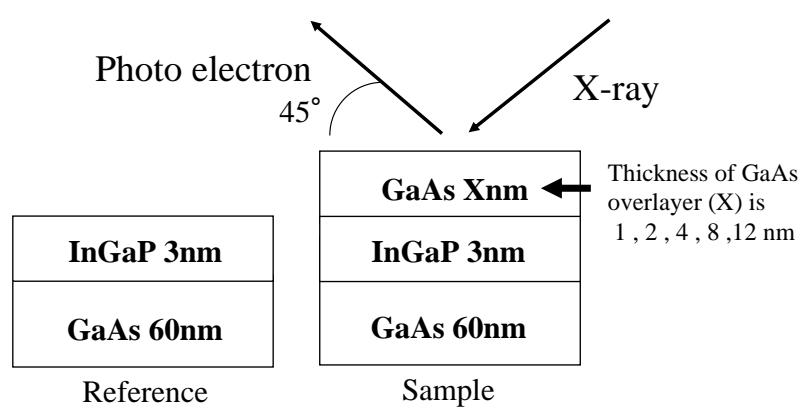


図4 XPSによるIn偏析観測用サンプルの作製

析となる。この特徴を活かし、下記のようにサンプルを作製して In の GaAs 層内への偏析を検討した。図 4 に示すように、InGaP 上に GaAs 層を 1~12nm 程度の厚さの GaAs 層を形成し、このようなサンプルの XPS 測定を行った。このとき、InGaP 層の In および P からの光電子は、それぞれの元素が GaAs 中に拡散しない限り、GaAs の厚みに対して指数関数的に減少するはずである。実際に測

定した結果を図 5 に示す。このグラフの縦軸は対数グラフに直してある。GaAs の膜厚が増えるとともに P 原子は指数関数的に減少しているが、In 原子は単純な指数関数的な減衰ではなく、二つの減衰長さを持っている。このことは、In 原子がなんらかの形で GaAs 層内に拡散していることからおきていると考えられる。サンプル作製において、GaAs 層に InGaP 層を格子整合させて成長していることから、InGaP 成長中にすでに In の表面偏析が起き、表面に過剰な In が吸着していると考えた。この過剰な表面 In が GaAs 成長中にさらに表面偏析しながら拡散したものと考えた。

そこで、我々はこの In の表面偏析をガス切り替えシーケンスの工夫によって抑えることを検討した。InGaP 成長中の表面に In 原子が過剰に吸着しているとするならば、この In 原子を P と Ga で終端すれば表面偏析する In 原子の絶対量は減るはずである。そこで我々は、その過剰な In 原子を InGaP 層に終端するために、図 6 のようなガス切り替えシーケンス（III 族最適化シーケンス）を考案した。この III 族最適化シーケンスは InGaP 成長後、TBP を過剰に供給し、次に TMGa を過剰に供給してその後に GaAs を成長する方法を取る。これまでと同様に XPS 用サンプルを作製し、V 族最適化シーケンスとの比較をした。結果を図 7 に示す。P についてはシーケンスの違いは出ていないが、In については明らかに改善した。このことは InGaP 上の GaAs 成

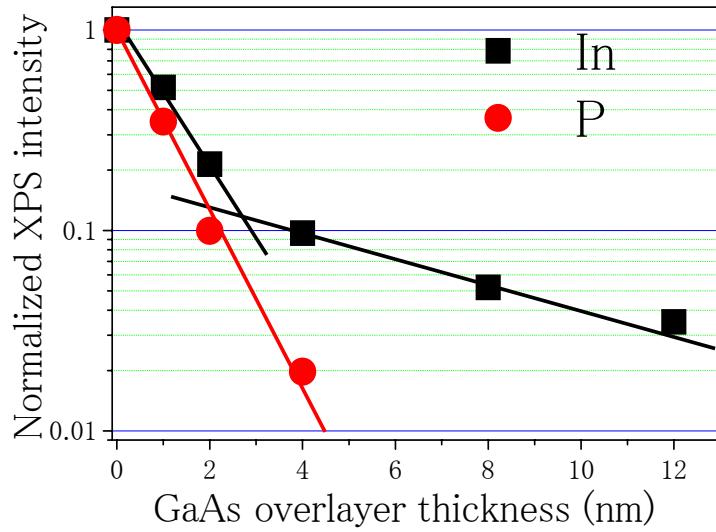


図 5 XPS 観察による In, P 原子の GaAs 中への偏析状況

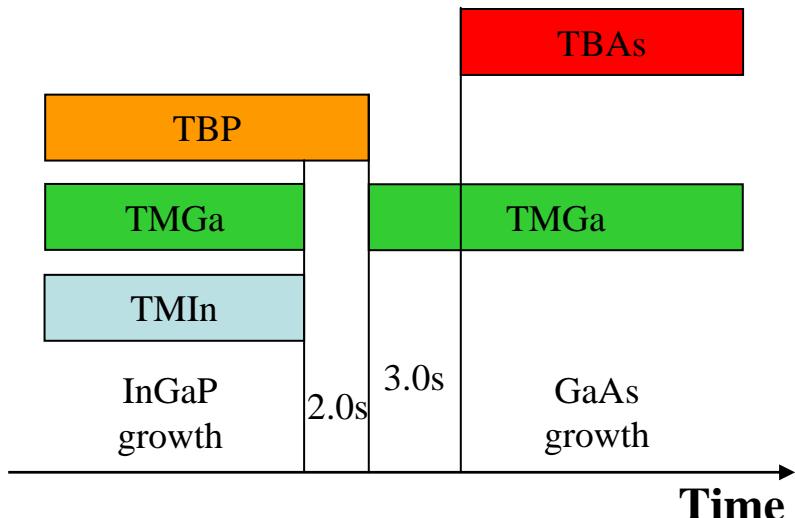


図 6 III 族最適化ガス切替シーケンス

長で TMGa の先流しが過剰な In の減少に有効であることを示している。

このような InGaP 成長中の In 偏析が起こる理由は定かではないが、成長最表面に固体でも気体でもない、サブサーフェイスが存在し、このサブサーフェイスへの気体からの取り込みと、サブサーフェイスからの結晶化に速度的なアンバランスがあると、表面に過剰な In 層が形成できる可能性がある。現在、このような観点に立って系統的な解析を進めている。

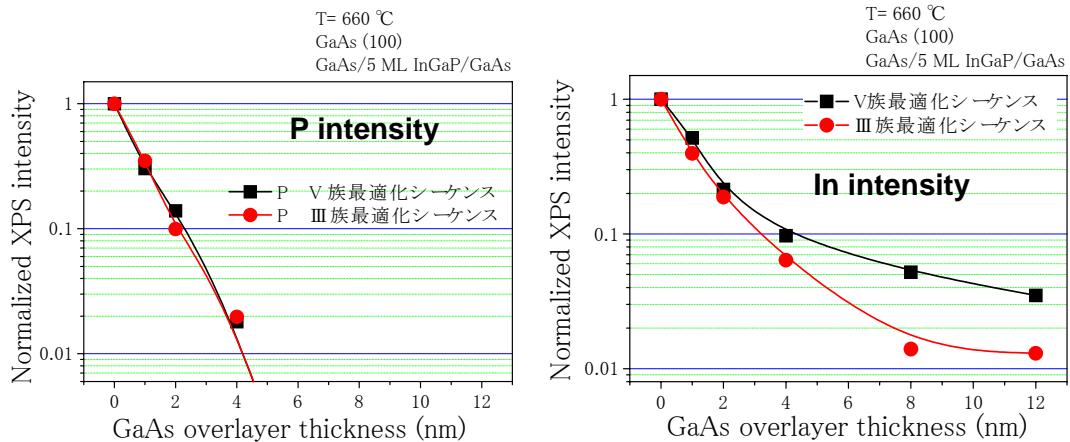


図 7 In, P 原子の GaAs 層内への偏析状況のシーケンスによる違い

### 3. 面積選択 MOVPE プロセスの解析と制御

有機金属気相エピタキシー (MOVPE) は化合物半導体薄膜成長において量産に適した重要な技術であるが、反応機構の本質的な理解が不足しているのが現状である。そのため、成長の最適化には多くの手間と費用がかけられており、デバイスマーカがこのために消費するウェハや原料のコストだけでも年間数億円に達すると言われている。MOVPE の精密な制御を行うには、反応器内での気相や表面での反応の理解が重要となる。今まで、気相反応はある程度理論から予測が出来たが、表面反応は予測精度が低く、観測手段も限られている。一方、MOVPE における選択成長技術は、モノリシック光集積回路(photonic integrated circuits; PICs) 製造プロセスを単純にするために重要な技術である。SiO<sub>2</sub>マスクの形を調整して同じ面の上に組成や厚みの異なる結晶薄膜を成長することができる選択成長において、成長領域面積が広く、気相拡散だけで成長速度分布が説明ができる場合には、その成長速度プロファイルを解析することによって、製膜種の表面での付着確率（反応速度）を求めることができると可能である。このことに着目し、様々な条件において付着確率を求めれば、CFD（熱流体数値解析）シミュレーションにおける重要な速度パラメータとして用いることができる。このような観点から、InP 系と GaAs 系の選択成長の解析を行った。

基板 (InP, GaAs) 上に SiO<sub>2</sub> 膜をスパッタリングで製膜してマスクとし、その上に InP, GaAs の成長を行った。MOVPE 装置には、水平反応器型を用いた。成長した膜の成長分布は、表面形状プロファイルを用いて測定した。選択成長分布を比較するため Growth Enhancement Ratio という概念を導入した。これは成長速度をマスクが全く無い部分の膜厚で規格化した値である。得られた成長速度分布は、MATLAB を用いた 2 次元拡散シミュレーションの結果と比較した。

図8は拡散方程式およびMATLABによるシミュレーションの境界条件を示している。ここで、マスク上では反応がないものとし、エピ成長面のみ $k_s$ という速度で反応するものとした。このシミュレーションにおいてパラメータとなるのは、エピ面での境界条件となる $D/k_s$ の値のみである。したがって、簡単に選択成長プロファイルから $D/k_s$ の値を実験的に得ることができる。ここで、Dは製膜種の気相拡散係数である。DはChapman-Enskogの式から推算することも可能であるし、MOVPEが多くの場合に拡散律速成長であることから、反応器内の成長速度分布を解析することによって実験的に求めることも可能である。なお、表面拡散による製膜分子種の輸送も選択成長の形状に影響を与えるものと思われる。実際に、マスク端から数μm程度の領域において表面拡散に由来する異常成長が確認されることから、我々の解析ではわざと数百mm程度の広幅選択成長を行い、マスク端から10mm程度は解析の対象からはずしている。これにより、気相拡散Dと表面反応 $k_s$ だけで議論が可能となる。

図9は実際の選択成長におけるGaAsおよびInPの選択成長プロファイルであり、InP系の方が分布が大きいことが確認される。この分布を先に示したMATLABによるシミュレーションと比較し、反応器内の製膜速度分布解析から得たDの値を基に $k_s$ の値を評価した結果が図10である。この温度領域ではGaAs系、InP系いずれも拡散律速成長となり、表面反応速度定数を評価することは困難であるが、このような方法をとることにより、初めて正確な評価が可能となった。ちなみに、この温度領域では成長速度は（拡散律速成長であるため）温度の依存性はほとんど観測できない。

図10を見ると、特にGaAs系において $k_s$ の値が600°C程度を境に活性化エネルギーが変化している。これには2つの理由が考えられる。まず、気相でTMGaが分解する速度はかなり大きく、実際に表面に拡散して反応する物質はTMGaではなく、メチル基を失ったMMGa（モノメチルガリウム）のようなものであると推察される。温度が変化すると、このような実際の製膜種が異なるために（例えば高温ではGa原子、低温ではMMGa）活性化エネルギーが変化したと考えることができる。一方、GaAs表面は成長温度によって表面構造が再構成され、2x4構造など、特異な

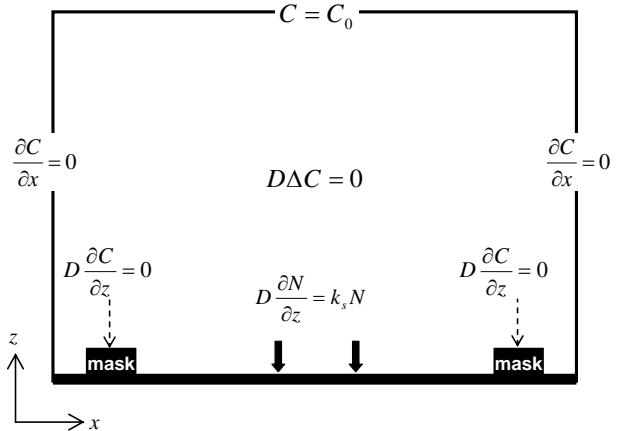


図8 MATLABによる選択成長のシミュレーション  
(2次元計算領域の設定と境界条件)

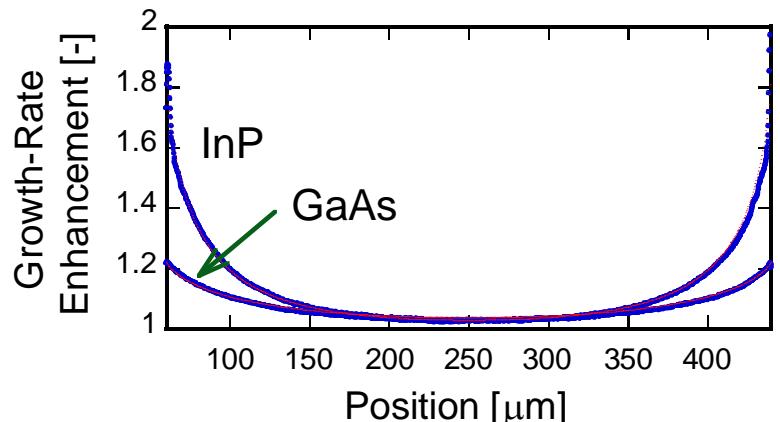


図9 選択成長の成長速度分布実測例

形状となることが知られている。図10の $k_s$ の活性化エネルギー変化はこのような表面構造変化に対応すると考えることも可能である。これらの詳細な検討を行うには、反応器内の滞留時間の影響などを系統的に検討するべきであり、今後の課題とする。

また、GaAs系とInP系を比較すると、InP系の方が反応速度が大きい。In系の製膜種はGa系よりも重く、拡散係数は小さいと考えられるので、 $D/k_s$ の値はIn系の方が小さくなる。したがって、InGaAsなどの3元系やInGaAsPなどの4元系を成長させた場合、選択成長領域内にてIn/Ga比に分布ができることが予想される。図11はこのようなことを想定して、InGaAsP系の量子井戸を図中に示すような階段状に幅が広がるマスクにより選択成長させ、量子井戸を顕微PL観測により波長面内分布を測定した結果である。マスク幅が広くなるとInの取り込みがGaよりも比較的顕著に大きくなり、

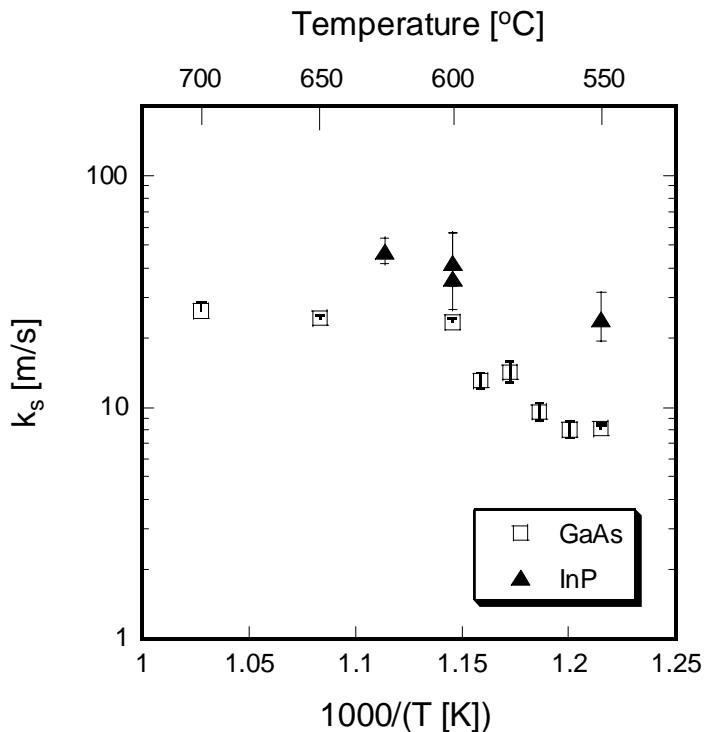


図10 選択成長解析から得られたInP, GaAs成長における製膜分子種の表面反応速度定数

状況に幅が広がるマスクにより選択成長させ、量子井戸を顕微PL観測により波長面内分布を測定した結果である。マスク幅が広くなるとInの取り込みがGaよりも比較的顕著に大きくなり、

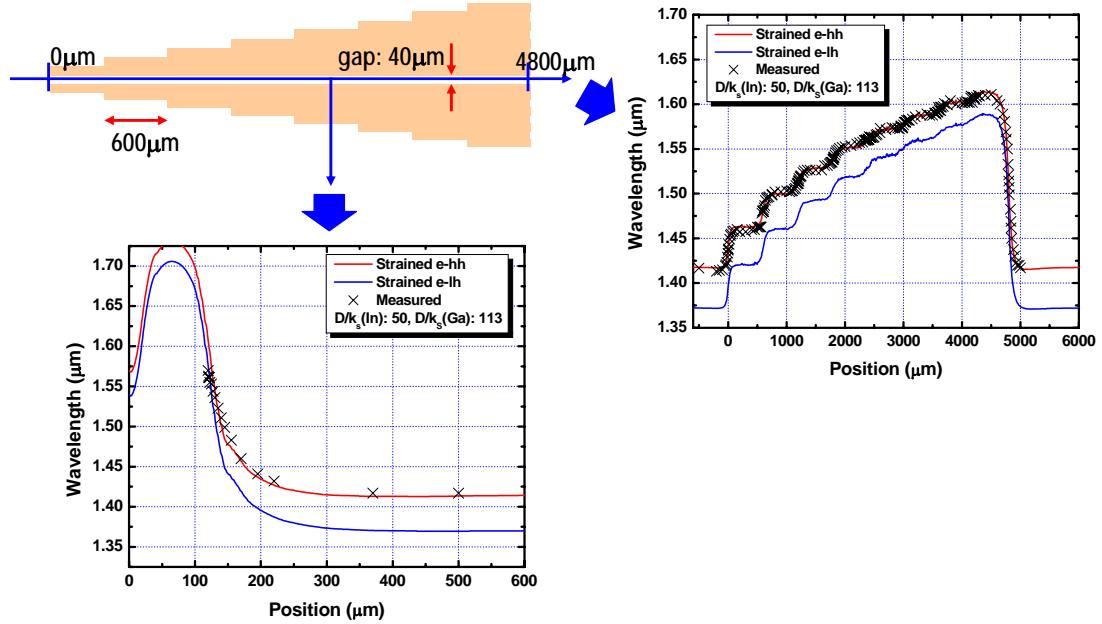


図11 選択成長によるInGaAsP量子井戸からのPL発光波長分布実測値およびシミュレーションによる予測値

組成が In-itch になる。図 11 に示すように、マスク端はより In-itch となるので PL 波長が長波長化している。このことを上記反応速度定数の解析結果を基に、シミュレーションによる組成分布予測を行い、ひずみの効果も併せて PL 波長の分布を計算したところ、図 11 に示すように、実測値とシミュレーションは極めて良い一致を見た。このことから、所望の光集積回路を作製するのに最適な選択成長マスクを論理的に設計できる見通しがたつことになる。すなわち、選択 MOVPE による光集積回路作製用 TCAD システムである。このようなシステムの信頼性を確保するには、先に述べたように  $ks$  の表面状態依存性や V/III 比依存性など、各種の制御因子について系統的な検討を行っていく必要があり、継続研究の重要な検討として取り上げていく予定である。

## (2) 得られた研究成果の評価及び今後期待される効果

MOVPE による化合物半導体のエピタキシャル成長は 1970 年代に開発された手法であり、30 年近くの年月が経過しているにも関わらずそのプロセスの詳細は明確になっていない。その結果として、最適条件を探索するテストランが不可欠であり、高価な化合物半導体基板をこのためにかなりの量消費しているのが現実である。このような状況に対し、我々の研究は反応の素過程までは明確にしてはいないが、成長速度や組成を予測することに成功している。特に、選択 MOVPE 成長によるデバイス作製において、デバイス特性予測も可能な状況にまで達成したのは地道な研究成果の積み重ねであったと考えている。過去に発表した論文に対する被引用回数は必ずしも多くはないが、解析 (Analysis) を主体とした研究では仕方ないことと言える。今後報告する選択成長を利用したモノリシック光集積回路試作に関連する Synthesis を中心とした論文は引用回数も増えるものと思う。

### 3. 3 人工光磁性材料とスピニ機能光デバイス(田中グループ)

#### (1) 研究成果の内容

##### 1. はじめに

全光情報通信網（フォトニックネットワーク）は、21世紀の最重要的社会基盤（インフラストラクチャ）の一つである。しかし、フォトニックネットワークの計画が進むにつれて明らかになってきたことは、その構成要素である光デバイスの機能が決定的に不足していることである。その不足している機能の1つが、光の非相反性である。これによって初めて光信号の一方向性が保証され、光による論理処理などの高度な情報技術が可能となる。光の非相反性は、材料の誘電率テンソルの非対角成分に起因するものであり、材料が強い磁気光学効果をもつことによってはじめて実現される機能である。発光や受光機能などをもつ光デバイスを担う主材料はGaAsやInPをベースとしたIII-V族化合物半導体であるが、これら通常の非磁性の半導体では、磁気光学効果はきわめて弱く、従来の半導体材料では、磁気光学効果や光の非相反性を期待することはできない。

以上の観点から、我々のグループでは、将来の光エレクトロニクス・光通信システムに役立つ新物質や新材料構造の開発とその物性機能の探索と制御、デバイス応用へ向けた基礎研究を行った。特に、従来は異質なものとされていた半導体の機能と磁性体の機能を合わせ持つIII-V族半導体ベースの複合材料「人工光磁性材料」を作製し、その基本物性を明らかにするとともに、従来の半導体では決して実現できなかつた大きな磁気光学効果による光の非相反性など、デバイス応用への展開に必要な物性機能を示すことに成功した。

以下、我々が取り組んだ①四元混晶磁性半導体、②GaAs:MnAsナノクラスター構造とその多層膜、③導波路型光アイソレータ、に関する研究成果を述べる。

#### 2. 四元混晶磁性半導体(InGaMn)As

##### 2.1 なぜ四元混晶磁性半導体か

III-V族強磁性半導体(III-V FMS)においては、我々のグループも含めてこれまでには主にInMnAsやGaMnAsなどの三元混晶が研究されてきた。本研究では、四元の混晶である(InGaMn)Asを低温分子線エピタキシー法(Low temperature MBE; LT-MBE)によって成長することに初めて成功した。四元混晶は三元混晶では実現し得ない以下の様々な可能性を持つ。

- ① In組成を変えることによって、大きくバンドギャップを変えることができる
- ② InP基板上に作製することができるため、1.3 μmまたは1.55 μm帯光通信へ応用できる
- ③ 歪を加えることによって、バンド構造や結晶磁気異方性を制御できる
- ④ 大きな磁気光学効果をもつ光磁性半導体

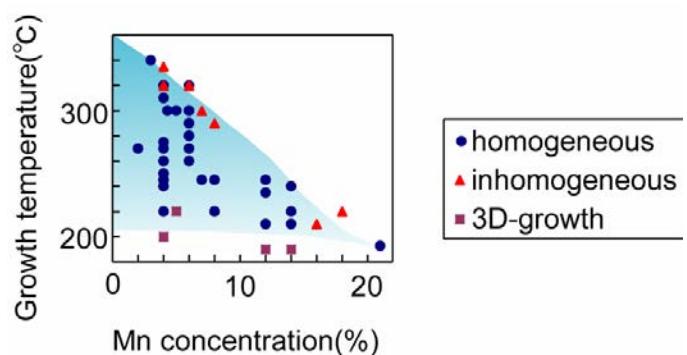


図1 (InGaMn)As の成長条件と構造

導体の実現が期待できる

本研究の目的の一つは、この(InGaMn)As の性質を明らかにすることである。

## 2.2 (InGaMn)As の成長と構造

本研究において、 $[(In_yGa_{1-y})_{1-x}Mn_x]As$  は GaMnAs や InMnAs と同様に、250°C程度の低い成長温度で、低温分子線エピタキシー法(Low temperature molecular - beam epitaxy; LT-MBE)に用いて成長できることが分かった。本研究で InP 基板上(InGaMn)As の成長に用いた成長条件を図 1 に示す。丸い点で示した条件が、MnAs のクラスタリングのない表面平坦な単結晶が得られる条件である。強磁性 GaMnAs に導入できる Mn 濃度は最高約 9%、InMnAs においては約 20% であることが知られている。(InGaMn)As においては、190°Cという非常に低い成長温度を用いれば、21%の非常に高濃度の Mn を導入できることが分かった。ここでは、特に 21%の Mn を導入した InP 基板上 $[(In_{0.44}Ga_{0.56})_{0.79}Mn_{0.21}]As$  の成長と物性について述べる。

$[(In_{0.44}Ga_{0.56})_{0.79}Mn_{0.21}]As$  は半絶縁性 InP(001)基板上に成長を行った。基板表面の酸化膜を約 600°Cで飛ばした後、成長温度約 500°Cで  $In_{0.44}Ga_{0.56}As$  バッファ層を 50nm 成長した。その後、成長温度 190°Cで  $[(In_{0.44}Ga_{0.56})_{0.79}]Mn_{0.21}As$  を 10nm 成長した。In 組成は、バッファ層の X 線回折ピークから求めた。Mn 濃度は、Mn セル温度と Mn フラックスの関係から見積もった。ここで用いた Mn フラックスは、MnAs の成長時に得られた反射高エネルギー電子線回折 RHEED (high-energy electron diffraction) 振動を用いて補正した。図 2(a)(b)に、成長中における[110]方向の RHEED パターン、および(110)面の断面透過型電子顕微鏡写真(Transmission electron microscopy; TEM)を示す。成長中の RHEED パターンは  $1 \times 1$  のストーリークであり、このことは  $[(In_{0.44}Ga_{0.56})_{0.79}Mn_{0.21}]As$  が表面平坦な単結晶であることを示している。固溶限界以上の Mn を導入した時に見られるような Mn の偏析や六方晶 MnAs の形成などは観測されなかった。また TEM 観察から、 $[(In_{0.44}Ga_{0.56})_{0.79}Mn_{0.21}]As$  が転位のない単結晶であること、六方晶 MnAs のクラスターなど第2相が存在しないことが分かった。すなわち、閃亜鉛鉱型構造をもつ四元混晶半導体の成長に成功した。InP 基板上に、光通信波長帯と整合性の良い磁性半導体を成長することができたのは、本研究が初めてである。

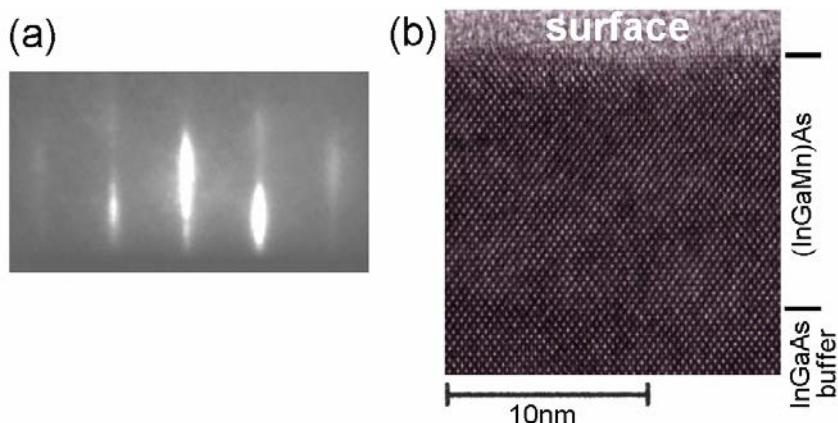


図 2 InP 基板上に低温 MBE 成長した $[(In_{0.44}Ga_{0.56})_{0.79}]Mn_{0.21}As$  薄膜 (厚さ 10nm) の RHEED パターンと (b) The TEM 格子像 (いずれも電子線[110]入射)。

### 2.3 $[(In_{0.44}Ga_{0.56})_{0.79}Mn_{0.21}]As$ の磁気光学特性(磁気円二色性)

磁気特性の評価として、まず反射型磁気円二色性(Magnetic circular dichroism; MCD)の測定を行った。MCDはサンプル表面における右円偏光と左円偏光の反射率の差で定義される。MCDは次のようなメカニズムで生じる。図3にIII-V族半導体のバンド構造を示す。 $\Gamma$ 点において、通常は、伝導帯と価電子帯は、それぞれ縮退している。しかし、外部から磁場を印加したり、あるいは、内部に磁化があったりするような場合には、ゼーマン分裂を起こし、バンドが分裂する。光学遷移の選択則により、図中に矢印で示した $\sigma+$ と $\sigma-$ の遷移のみが許容される。特に実線で示した光学遷移が支配的である。簡単のために、今、この実線で示した遷移のみが起こると仮定する。この時、バンドギャップと同じエネルギーを持つ光が入射すると、 $\sigma+$ (左円偏光に対応)の遷移は起こるが、 $\sigma-$ (右円偏光に対応)の遷移は起こらない。従って、左右の円偏光に差が生じ、MCDが生じる。MCDは次式で定義される。

$$MCD[\text{deg}] = \frac{90}{\pi} \frac{R_+ - R_-}{R} \propto \Delta E \frac{1}{R} \frac{dR}{dE}$$

ここで、 $R_+$ 、 $R_-$ はそれぞれ左右円偏光の反射率、 $R$ はトータルの反射率、 $\Delta E$ はゼーマン分裂エネルギー、 $E$ は入射光のエネルギーである。MCDは反射率の微分に比例するため、MCDは物質のバンド構造を反映する。特にバンドの特異点(Critical point; CP)で大きなMCD強度が得られることになる。

ゼーマン分裂エネルギー $\Delta E$ は次式で与えられる。

$$\Delta E = -(N_0\alpha - N_0\beta)x\langle s_z \rangle$$

ここで、 $N_0\alpha$ 、 $N_0\beta$ はそれぞれs-d、p-d交換積分、 $x$ はMn濃度、 $\langle s_z \rangle$ はMnイオンのスピントル平均である。 $\langle s_z \rangle$ はサンプル面に垂直方向の磁化の大きさに比例する。従って、MCDの強度は磁化の大きさに比例する。以上のようにMCDは、磁性半導体のバンド構造と磁化の情報を同時に得ることができ、評価手法として大変優れていると言える。

図4(a)に、膜厚1.4 μmの $Ga_{0.926}Mn_{0.074}As$ における反射MCDスペクトルを、(b)に膜厚50 nmの $[(In_{0.53}Ga_{0.47})_{0.79}Mn_{0.21}]As$ におけるスペクトルを、(c)に膜厚10 nmの $[(In_{0.44}Ga_{0.56})_{0.79}Mn_{0.21}]As$ におけるスペクトルを示す。(a)と(b)は参考として示した。すべての測定において磁場は面直方向に1 T印加した。(a)は5K、(b)(c)は10Kにおける結果である。(c)に示した $[(In_{0.53}Ga_{0.47})_{0.79}Mn_{0.21}]As$ のスペクトルは、成長後に200°Cで30分低温アニールを行った後の測定結果である。低温アニールは、InMnAsやGaMnAsの磁気特性を改善する手法として注目されている。(c)の膜厚は大変薄いにも関わらず、300mdegに及ぶ非常に大きなMCDが観測された。これは(InGaMn)Asがきわめて大きな磁気光学効果をもつ材料であることを意味している。すべてのスペクトルにおいて $E_0$ のピークと、 $E_1$ の二つのピークが観測されている。これらはそれぞれ $\Gamma$ 点と $\Lambda$ 点の光学遷移に対応している。(b)と(c)のスペクトル形状は、(a)のGaMnAsのスペクトル形状に良く似ている。これは、(InGaMn)Asのバンド構造が閃亜鉛鉱型であることを示している。

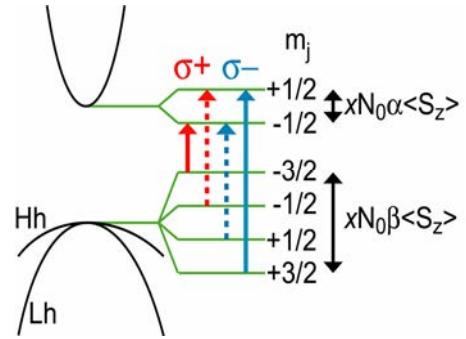


図3 III-V族半導体のバンド構造と、磁場または磁性元素添加によるスピントル平均である。MCDは反射率の微分に比例するため、MCDは物質のバンド構造を反映する。特にバンドの特異点(Critical point; CP)で大きなMCD強度が得られることになる。

MCD 強度は磁化の面直成分に比例するため、MCD の磁場依存性を測定することによって、通常の MH カーブの測定と等価な測定を行うことができる。ここでは、図 4(c)に示した  $[(In_{0.53}Ga_{0.47})_{0.79}Mn_{0.21}]As$  のスペクトルにおいて最も大きな MCD が得られた 1.45 eV の光を照射し、様々な温度で  $[(In_{0.44}Ga_{0.56})_{0.79}Mn_{0.21}]As$  における MCD の磁場依存性の測定を行った。磁場は面直方向に印加した。低温で明確な強磁性秩序が観測され、126K においてもまだ強磁性秩序が保たれていた。キュリー温度を見積るために、この結果を用いてアロットプロットを行った。アロットプロットとは、(印加磁場)/(磁化) を横軸にとり、 $(\text{磁化})^2$  を縦軸にとるプロットのことである。このプロットにおいて、高磁場のデータから直線を外挿して縦軸との交点を求める。この交点の y 座標は自発磁化の 2 乗に対応する。従って、もし、この交点の y 座標が正であれば、その温度では強磁性であり、負であれば、常磁性である。その交点が原点に一致すれば、その温度がキュリー温度である。ここでは「磁化」に対応する量として「MCD 強度」を用いた。アロットプロットよりキュリー温度は 130 K であると見積もられた。このキュリー温度は今まで報告してきた InMnAs ( $\sim 50$  K) や (InGaMn)As ( $\sim 110$  K) のキュリー温度の中では最高値である。

## 2.4 まとめ

InP 基板上に III-V 族ベース四元混晶磁性半導体  $[(InGa)Mn]As$  をエピタキシャル成長することに成功した。構造解析から、六方晶 MnAs クラスターのない良質の閃亜鉛鉱型単結晶が得られていることが分かった。 $[(InGa)Mn]As$  は大きな磁気光学効果をもつこと、キュリー温度は 130 K に達することを示した。この値は、最近 GaMnAs で相次いで得られた高いキュリー温度(140 - 160K)に匹敵する値である。また、今まで報告されている InMnAs や (InGaMn)As のキュリー温度の中では最高である。

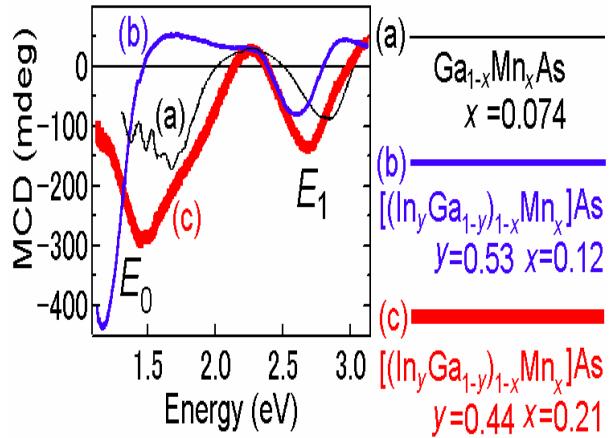


図 4 (a) 1.4  $\mu m$  の厚さの  $Ga_{0.926}Mn_{0.074}As$  薄膜、  
(b) 50 nm の厚さの  $[(In_{0.53}Ga_{0.47})_{0.88}Mn_{0.12}]As$  薄膜  
(Mn 組成  $x=0.12$ )、(c) 10 nm の厚さの  
 $[(In_{0.44}Ga_{0.56})_{0.79}Mn_{0.21}]As$  薄膜( $x=0.21$ )の MCD スペクトル。測定温度は (a) 5 K、(b)(c) 10 K で、すべて薄膜面に垂直に 1T の磁場を印加して測定された。

### 3. GaAs:MnAs ナノクラスター構造とその多層膜

#### 3.1 はじめに

近年、分子線エピタキシー(Molecular-beam epitaxy; MBE)等の結晶成長技術の進歩により、半導体と磁性化合物の複合構造の作製が可能になった。これらの複合構造の代表的なものには、前記のような強磁性混晶半導体、および本研究で示す半導体マトリクス中の強磁性金属クラスター (GaAs:MnAs) があり我々のグループで研究を進めてきた。これらの材料は既存の III-V 族化合物半導体ヘテロ構造との整合性に優れ、大きな磁気光学効果を示すという他の材料にない特色を示す。代表的な強磁性混晶半導体である(GaMn)As は低温で強磁性を示す材料であるが、強磁性転移温度が室温に達していないことから室温動作は困難である。そこで、本研究では超常磁性（または強磁性）を示す GaAs:MnAs ナノクラスター構造（グラニュラー薄膜）を作製し、この材料が室温で大きな磁気光学効果をもつことを示す。さらに、非磁性 III-V ヘテロ構造との優れた整合性を活かし、薄膜で大きなファラデー効果を得るという目的から、GaAs/AlAs 分布ブラッジ反射鏡(Distributed Bragg reflector; DBR)で挟まれた半導体/磁性体複合構造 GaAs:MnAs の磁気光学特性を明らかにした。

#### 3.2 GaAs:MnAs ナノクラスター構造の形成とその物性

GaAs:MnAs ナノクラスター構造の作製方法を簡潔に述べる。まず分子線エピタキシーによって GaAs(001)基板上に(GaMn)As 薄膜 (Mn 濃度 4%~7%) を基板温度 280°C で低温成長し、その後、580~620°C でアニールすることによって GaAs 中に MnAs ナノクラスターが形成される。低温 MBE 成長時には Mn は Ga サイトに入り込んでおりその分布は一様に GaAs 中に広がっているが、その後のアニールによって熱力学的により安定な MnAs クラスターになる。GaAs 中に直径 5~10nm の MnAs クラスターが分布している断面 TEM 像を図 5 に示す。MnAs は 125°C と 45°C に構造相転移点を持ち、125°C 以上及び 45°C 以下では六方晶の NiAs 型構造、中間温度である 45°C~125°C では斜方晶の MnP 型構造をとる。45°C 以下の相では強磁性であるが、それ以外の高温相は常磁性である。しかし、本研究で用いた GaAs:MnAs 中では MnAs はナノスケールのクラスター状になっているためその磁性はバルクのそれとは少し異なる。つまり、クラスターのサイズが 10nm 以下になるとシングルドメインを持つクラスターとなり GaAs:MnAs は超常磁性となる。また、GaAs:MnAs 中の MnAs クラスターのサイズが 10nm 以上のときには、GaAs:MnAs は超常磁性ではなく強磁性を示す。MnAs クラスターサイズは Mn 濃度とアニール温度に依存する。つまり GaAs:MnAs 層は強磁性にも超常

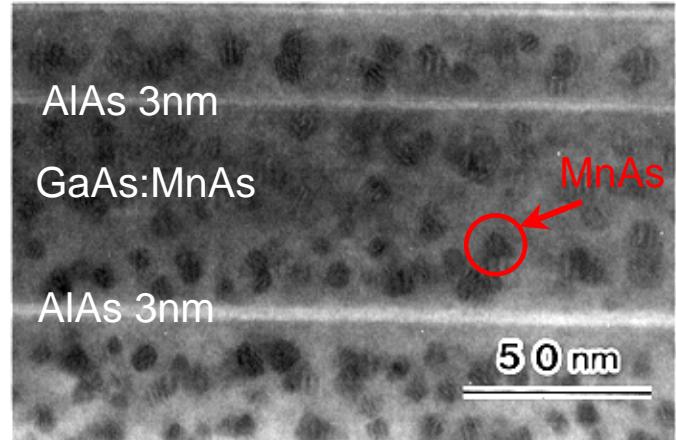


図 5 GaAs 中に MnAs ナノクラスターを埋め込んだ GaAs:MnAs 薄膜と AlAs とのヘテロ構造の断面を透過型電子顕微鏡(TEM)で観察した例。赤丸が強磁性 MnAs の微粒子で直径は数~10nm 程度。すべて単結晶でまったく転位は見られない。大きな磁気光学効果を示す。

磁性にもなりうるユニークかつ制御可能な磁性を持つIII-V族半導体ベースの材料である。

このGaAs:MnAsナノクラスター構造の物性について、以下のことを明らかにした。

- 1) GaAs中にMnAsナノクラスターを埋め込んだGaAs:MnAsナノクラスター材料をさまざまな条件で形成し、MnAs微粒子のサイズ、密度、均一性などをある程度制御できることを示した。また、GaAsとMnAsの結晶構造の差異にもかかわらず、無転位の単結晶が形成できる。
- 2) 図5に示すような多層膜・ヘテロ構造の形成が可能であり、III-V族半導体ヘテロ構造ともきわめて整合性が良いことを示した。
- 3) MnAs微粒子サイズが10nm以下では室温では超常磁性、10nm以上では強磁性的振る舞いを示すことがわかった。
- 4) 超常磁性を示す試料についてはそのブロッキング温度を約70K程度と見積もった。室温で大きな磁気光学効果（ファラデー回転角0.4 - 0.8 deg/ $\mu$ m）を得た。

### 3.3 多層膜の形成と磁気光学効果

磁気光学効果の増大を目的として、次のようなDBRを含む多層構造をMBE成長により作製した。動作波長 $\lambda$ （DBRのプラグ波長）はErドープファイバ増幅器の励起レーザの波長の一つである=980nmとした。(001)GaAs基板上に透過測定を行う際基板を選択的に取り除くためのAlGaAsエッチストップ層を300nm成長した後、10周期のGaAs(70nm)/AlAs(83nm)DBRを基板温度550-580°Cで成長した。GaAs,AlAsの膜厚は $\lambda/4n$ (n:屈折率)とした。次に基板温度を250°Cの低温に下げ、139nmの(Ga<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>)As(Mn濃度x=0.047)を成長した。

最後に基板温度を再び580-625°Cに上げた後、550-580°Cで10周期のGaAs(70nm)/AlAs(83nm)DBRを成長した。基板温度を500°C以上の高温に上げている間にGaMnAsは相分離によりGaAsマトリクスにMnAsクラスターが埋め込まれた複合構造となる。MnAsは室温で強磁性を示すが本構造ではナノクラスターとして埋め込まれているため、全体では超常磁性を示す。この条件下では直径6-8nm程度のMnAsクラスターが形成される。多層構造の設計ではGaAs:MnAsクラスターの屈折率はGaAsの屈折率に等しいとし、その膜厚は $\lambda/2n=139nm$ とした。この仮定は透過率スペクトルの測定結果の解析から妥当であることを確認している。この多層構造は中心層が磁性層であるマイクロキャビティであり、半導体ベース磁性マイクロキャビティ、もしくは一次元半導体ベース磁性フォトニック結晶と呼ぶことができる。このような多層構造では波長 $\lambda$ の光が多重反射によって中心磁性層に閉じ込められ、磁気光学効果が増大する。図6は

この多層構造の断面電子顕微鏡写真である。各層は設計した膜厚に比べてわずかに薄いが(膜厚設計値からのずれは5%未満)、設計した構造が平坦な界面をもって形成されていることがわかる。

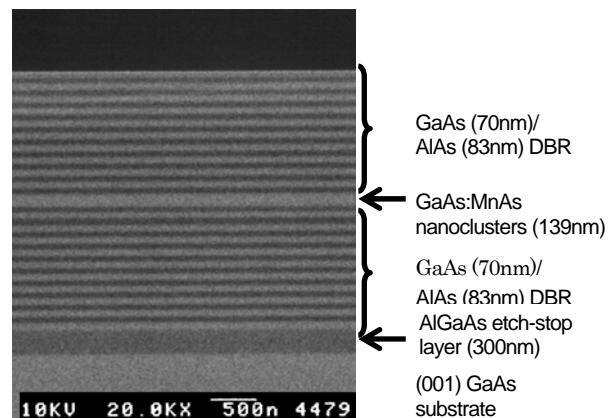


図6 (001) GaAs基板上に成長したGaAs-AlAsDBR/GaAs:MnAsナノクラスター/GaAs-AlAsDBR多層膜構造の断面SEM像

図7は多層構造の(a)透過率,(b)磁気円二色性(Magnetic circular dichroism; MCD),(c)ファラデー回転角スペクトルである。図中の実線が多層構造の測定結果、点線が比較のために同様な手法で作製された GaAs:MnAs クラスターの単層構造(200nm)の測定結果である。測定はすべて室温で行い、MCD 及びファラデー回転角は 1T の磁場の印加下で行った。透過率スペクトル(図7(a))において透過率の低いトップバンド(フォトニックバンドギャップ)(900-1050nm)の中央 970nm に透過率の極大が現れており、この波長付近において MCD 及びファラデー回転角の増大が観測された。単位磁性層厚あたりの磁気光学効果の増大は MCD で比較すると 7 倍である。図中には磁気光学効果の理論計算結果も鎖線で示している(後述)。987nm における MCD の磁場依存性も室温で測定した。磁気光学効果は MnAs クラスターの超常磁性を反映して比較的低磁場の 0.1-0.2T で飽和する。この動作磁場は常磁性の CdMnHgTe を用いた光アイソレータの動作磁場(0.3-0.5T)に比較してかなり小さく、装置の小型化に寄与すると考えられる。

### 3.4 磁気光学効果の理論解析

より高い磁気光学性能を有する多層構造を設計・作製するために磁気光学スペクトルの理論解析を行った。磁気光学効果の計算は井上らによる Bi:YIG と誘電体の多層構造の磁気光学効果の計算に用いられているマトリクス法に基づいている。(GaMn)As 及び GaAs:MnAs クラスターの誘電率スペクトルはまだ明らかになっていないため、屈折率には GaAs のパラメータを用い、磁気光学効果に寄与する誘電率テンソルの非対角項は GaAs:MnAs 単層のファラデー回転角、MCD スペクトルの測定結果より求めた。吸収係数はフィッティングパラメータとして取り扱った。前記図7 の鎖線が計算結果であり実験結果をよく再現している。フィッティングにより得られた GaAs:MnAs クラスターの消光係数  $\kappa$ (複素屈折率  $n^* = n-i\kappa$  の虚部) は 980nm において 0.125、吸収係数に換算すると  $1.6 \mu m^{-1}$  である。

この多層構造の現時点における問題点は中心磁性層の吸収損失による多層構造全体の透過率の低さである。そこで磁気光学効果をより詳しく解析し、光アイソレータへの応用を検討するため、多層構造中のブリッジ波長( $\lambda=980nm$ )の光の電界強度分布の計算、及びファラデー回転角のピーク値の DBR 周期数依存性を計算した。図8に計算結果を示す:(a)は中心磁性層の吸収が大きい現在の場合( $\kappa=0.125$ )であり、(b)は中心磁性層が磁気光学効果を保ちつつ、吸収損失が 1/100 になったと仮定した場合( $\kappa=0.00125$ )の計算結果である。中心磁性層の吸収損失が小さい場合には入射光

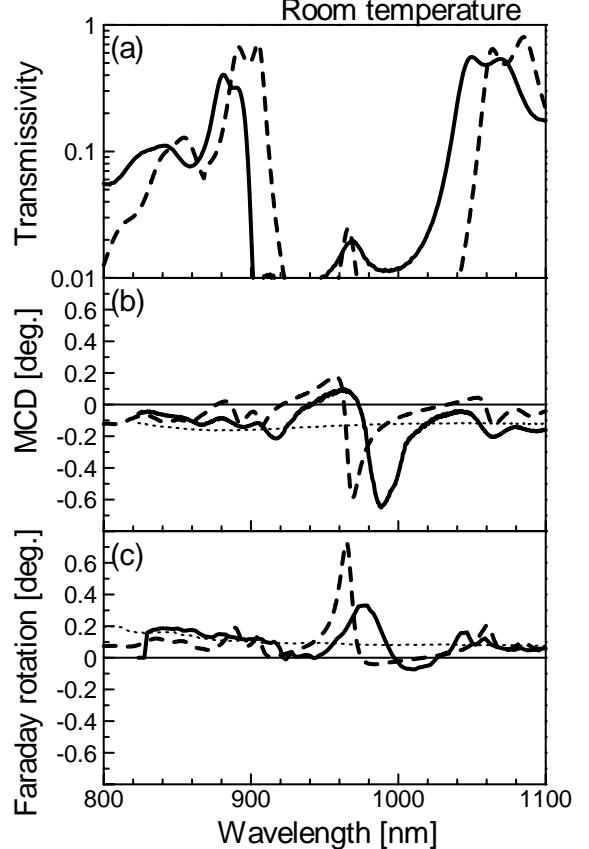


図7 図6の多層構造の(a)透過率、(b)磁気円二色性(Magnetic circular dichroism; MCD)、および(c)ファラデー回転角のスペクトル。図中の実線が多層構造の測定結果、点線が比較のために同様な手法で作製された GaAs:MnAs クラスターの単層構造(200nm)の測定結果、波線が理論計算の結果を表す。

が多重反射によって中心磁性層によく閉じ込められている様子が計算結果に現れており、19周期のDBRで光アイソレータに必要な45°のファラデー回転角が得られることが予測される(図8(c))。一方、中心磁性層がある程度の吸収損失を有する現在の場合では入射光の位相が多層構造と整合せず、図8(d)に現されているようにDBRの周期数の増大が必ずしもファラデー効果の増大につながらない。したがって光アイソレータへ応用するには中心磁性層の吸収損失を約1/100に低減する必要があることが明らかとなった。

### 3.5 GaAs:MnAs クラスターの吸収損失の低減

以上のような理論予測に基づき、吸収損失を低減するために1).MnAs クラスターサイズの制御、2).動作波長の長波長化、の2つのアプローチを試みた。

GaAs:MnAs クラスター層の吸収損失及び磁気光学効果はそのクラスターサイズに敏感であり、クラスターサイズが大きくなるにしたがって吸収損失及び磁気光学効果が大きくなる。MnAs クラスターのサイズはアニール条件等の様々な条件に依存し、また相分離という自然形成的な手法を利用しているため断面 TEM 像で示したようにクラスターサイズにはばらつきが存在し、吸収及び磁気光学特性を制御しきれていないと考えられる。そこで膜厚 10nm 前後からなる(GaMn)As/AlAs 超格子をアニールした[GaAs:MnAs]/AlAs 超格子を作製し、GaAs:MnAs 層の膜厚によって MnAs クラスターサイズを制御することを試みた。TEM 観察により、GaAs:MnAs と AlAs の積層構造において GaAs:MnAs 層厚が 10nm 以下の場合には MnAs クラスターサイズがその膜厚内に収まり、厚い層に比較してクラスターサイズのはらつきが小さくなっていることを見出した。そこで、クラスターサイズの制御された[GaAs:MnAs]/AlAs 超格子の吸収、磁気光学特性を測定した。GaAs:MnAs クラスター層が 5nm 及び 12nm の超格子の透過率と MCD スペクトルを測定したところ、超格子では磁気光学効果を維持しながら、吸収損失が 1/2~2/3 に低減することができた。これは吸収損失をもたらす大きなサイズの MnAs クラスターの形成を抑えることができたためであると考えられる。さらに動作波長を長波長化することを検討した。GaAs:MnAs 層の透過率は 1000-1600nm の波長帯では波長が長くなるにつれて透過率が単調に増大することを見出した。200nm 厚の GaAs:MnAs クラスター層( $x \sim 0.05$ )の 1550nm

における透過率は 90%に達する。長波長帯での GaAs:MnAs クラスターの磁気光学特性、及びその Mn 濃度依存性についてはまだ明らかにしていないが磁気光学性能指数が上昇することが期待される。

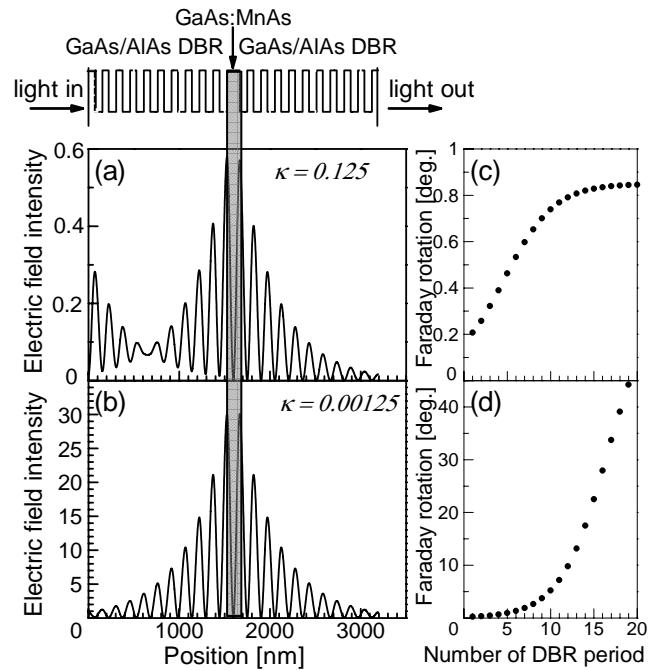


図 8 DBR/GaAs:MnAs/DBR 多層膜における光の電界分布とファラデー回転角の計算結果。(a)と(c)は中心磁性層の吸収が大きい現在の場合( $\kappa = 0.125$ )であり、(b)と(d)は中心磁性層が磁気光学効果を保つつゝ、吸収損失が 1/100 になったと仮定した場合( $\kappa = 0.00125$ )。

### 3.6 まとめ

低温 MBE 成長した(GaMn)As を高温アニールすることにより、GaAs 中に MnAs ナノクラスターが埋め込まれた構造を形成し、その構造や物性制御に成功した。GaAs:MnAs ナノクラスターは単結晶で無転位、III-V 族半導体やヘテロ構造との整合性がきわめて良好であること、超常磁性および大きな磁気光学効果を室温で示すことを明らかにした。また、DBR/GaAs:MnAs/DBR 多層構造（半導体磁性フォトニック結晶）を形成し、その構造や物性制御に成功し、磁気光学効果デバイスへの指針を示した。室温で磁気光学効果を数倍程度さらに増強し、波長選択性があること、損失を減らせば半導体薄膜素子で 45 度ファラデー回転が可能であることを示した。

GaAs:MnAs 層の吸収損失という問題があるものの、本研究で示した材料や多層構造は III-V 族化合物半導体ヘテロ構造をベースとしたものであり、YIG と誘電体からなる多層構造と比較して次のようなメリットがある。

- 1) レーザダイオードや光導波路等の III-V 族光電子デバイスとのモノリシック集積化が容易である。
- 2) 多層構造全体の作製を MBE によって行うため、高品質で界面平坦性のよい多層構造を作製することができる。
- 3) 室温で比較的低磁場の 0.1-0.2T で動作させることができ、デバイスの小型化には有利である。
- 4) 磁性層,DBR とも母体となる材料が赤外領域から紫外領域まで豊富に存在する。すなわち材料設計の自由度が大きく、半導体レーザや光導波路などの III-V 族光エレクトロニクス・デバイスとのモノリシック集積化が可能である。

## 4. 導波路型光アイソレータの提案解析

### 4.1 導波路型の光アイソレータの必要性

現在実用化されている光アイソレータは 45° のファラデー回転角を有するファラデー回転子と 2 つの直線偏光子(偏光子と検光子)から構成されている。従来の光アイソレータは光ファイバとの整合性には優れているが、半導体レーザ、特に端面発光型の半導体レーザとの構造上の整合性には優れておらず、またデバイスサイズも cm オーダーと大きい。これに対して導波路型の光アイソレータが実現されれば、端面発光型半導体レーザとの整合性もよいため、半導体レーザと集積化した光アイソレータ等の非相反磁気光学デバイスが実現できる。GaAs:MnAs クラスターを含む磁気光学導波路における非相反損失/利得変化を用いた半導体導波路型光アイソレータの提案・設計・解析について述べる。本提案の導波路型光アイソレータの構造を採用すれば、現状の GaAs:MnAs クラスターの光物性・磁気光学物性を用いたままで（すなわち光損失が現状のままでも）、デバイス設計と動作が可能である。しかも InP 基板上にモノリシック集積化が可能であり、偏光子や検光子が不要である。

### 4.2 GaAs:MnAs を含む磁気光学導波路の非相反損失変化と半導体導波路型光アイソレータ応用

図 9 に本研究で提案する InP 基板上の導波路型光アイソレータの構造を示す。このアイソレ

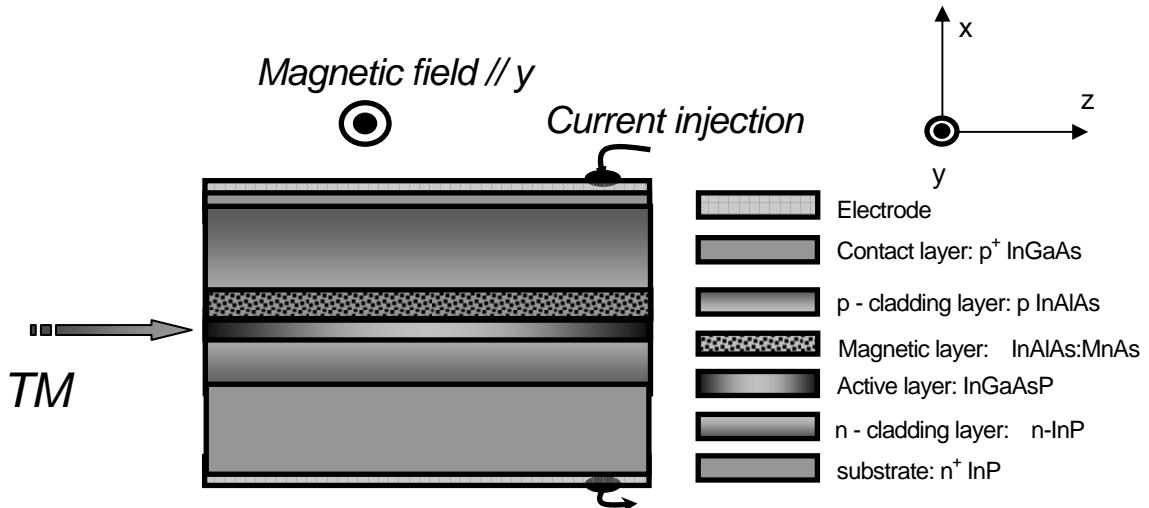


図9 半導体導波路型光アイソレータの構造 (TM モード対応)

ータは下部電極、n-InP 基板、n-InP クラッド層、InGaAsP 活性層(バンドギャップ波長  $1.55 \mu\text{m}$ )、InAlAs:MnAs 磁性層、p-InAlAs クラッド層、p-InGaAs コンタクト層、上部電極からなる。動作波長は  $1.55 \mu\text{m}$  に設定した。磁性層は InP 基板に格子整合する InAlAs マトリクスに埋め込まれた MnAs クラスターを想定している。非相反屈折率変化の計算に必要な誘電率テンソルの非対角項は、GaAs:MnAs の波長  $1.55 \mu\text{m}$  におけるファラデー回転角、楕円率と InAlAs の屈折率から算出した。このような磁性層を含むプレーナー導波路に TM モード光が入射すると、伝搬方向( $+z/-z$ )によって伝搬損失が異なるという現象が生ずる(非相反損失/利得変化)。InGaAsP 活性層への電流注入によって前進波のみ伝搬損失を補償し、後退波は伝搬損失が残る状態を作り出すことによって光アイソレータ動作を実現することができる(非相反損失/利得)。これまで非相反損失/利得を用いた導波路型光アイソレータについては強磁性体金属(Co)を用いたものが提案、解析されている。MnAs クラスターの吸収損失は強磁性体金属の吸収損失よりも小さく、また MnAs クラスター層上への高品質な半導体ヘテロ構造の作製も可能であるため、導波路のコア(活性)層の近傍に磁性層を配置することができ、大きな磁気光学効果が期待できる。

非相反損失/利得の計算は Maxwell 方程式を解くことにより行った。光アイソレータの性能(消光比、損失を補償するのに必要な利得)を最適化するため、InGaAsP 活性層と InAlAs:MnAs 磁性層の間に InGaAsP ガイド層(バンドギャップ波長  $1.25 \mu\text{m}$ )を挿入している。活性層厚が  $250\text{nm}$ 、ガイド層厚が  $300\text{nm}$  の時の非相反損失/利得の計算を行った。消光比は  $119\text{dB/cm}$ 、前進波の損失を補償するのに必要な利得は  $1300\text{cm}^{-1}$  となった。この時  $30\text{dB}$  のアイソレーションを得るために必要なデバイス長は  $2.52\text{mm}$  であり、他の導波路型光アイソレータと比較しても同程度であり、デバイスサイズは小さい。光の閉じ込めは TM モードより TE モードに対して大きいため、TE モードが受ける損失の方が TM モードの受ける損失より小さい。このため TM モード光に対する光アイソレータ動作には活性層として TM モードに対して利得を有する伸張歪量子井戸構造を用いればよい。最適なデバイス構造を見つけるため、ガイド層厚を変化させ、消光比、損失を補償するのに必要な利得のガイド層厚依存性を調べた。ガイド層厚を薄くするに従って、消光比は大きくなるが、損失を補償するのに必要な利得も同時に大きくなる。これは InAlAs:MnAs 磁性層への光のしみ出しが大きくなるためである。最適なガイド層厚を見つける

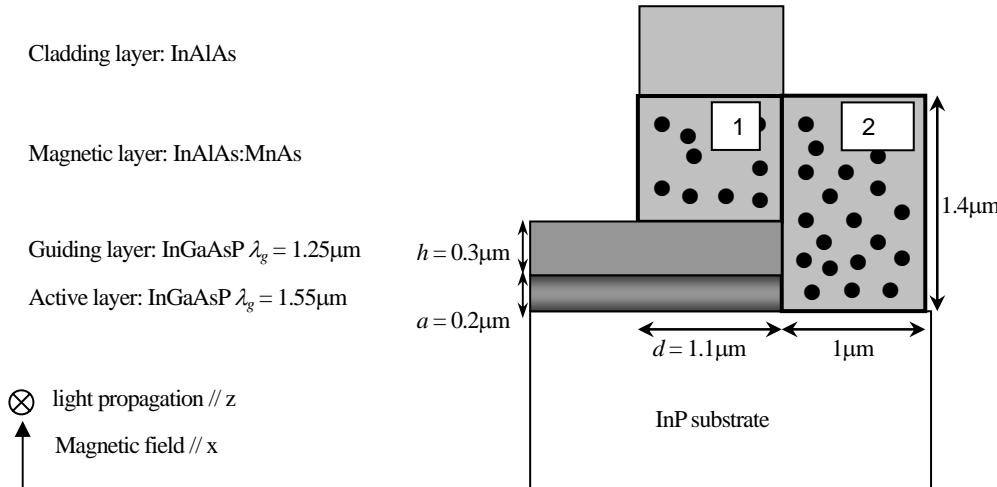


図 10 半導体導波路型光アイソレータの構造 (TE モード対応)

ため、光アイソレータの性能指数を、消光比を前進波の損失を補償するのに必要な利得で割った値として定義し、そのガイド層厚依存性を調べた。その結果、ガイド層厚が 150nm の時に性能指数が極大を示すことがわかった。このことからガイド層厚が 150nm の場合がこの導波路型光アイソレータの構造として最適であることが明らかになった。

上記の導波路型光アイソレータは TM モードで動作する。しかしながら多くの半導体レーザは TE モードで発振するため、TE モードで動作する導波路型光アイソレータが望まれる。さらに TE モードで動作する導波路型光アイソレータの構造の提案、動作解析を行った。TE モードで動作する導波路型光アイソレータを実現するには TE モード光( $E_y, H_x, H_z$ )の磁界ベクトル  $H_x$  が磁性層の磁化と平行になるように配置すればよい。このアライメントを実現するためにはリッジ導波路の側壁の一方に磁性層を配置し、磁場を導波路及び光の伝搬方向に垂直方向(x 方向)に印加すればよい。図 10 に TE モード対応の導波路型光アイソレータの構造を示す。磁性層である InAlAs:MnAs 層をリッジ導波路の側壁に配置(図の領域 1)した構造となっている。また磁性層をリッジ導波路の上部に置く(図の領域 2)ことにより先に示したように TM モードに対しても光アイソレータ動作を実現することができ、偏波無依存型の光アイソレータを実現することができる。この導波路型光アイソレータの非相反損失/利得変化を、等価屈折率法による電磁界分布の計算と摂動法によって求めた。計算の結果、リッジ導波路の幅  $d$  を小さくするにつれて TE モードに対するアイソレーションが大きくなることがわかった。これはリッジの幅を小さくするにしたがって磁性層の領域 1 への光のしみ出しが大きくなるからである。InGaAsP コア層厚  $a$  が  $0.2 \mu\text{m}$ 、ガイド層厚  $h$  が  $0.3 \mu\text{m}$ 、導波路の幅  $d$  が  $1.1 \mu\text{m}$  の時、波長  $1.55 \mu\text{m}$  の TE モードに対する消光比は  $36\text{dB}/\text{cm}$  となった。この時、前進波の損失を補償するのに必要な利得は  $730\text{cm}^{-1}$ 、 $30\text{dB}$  のアイソレーションを得るのに必要なデバイス長は  $8.3\text{mm}$  と求められた。また、リッジの高さ  $h$  を小さくするにつれて、TM モードに対するアイソレーションが大きくなることがわかった。これは先にも述べたようにガイド層の厚さを薄くするにしたがって磁性層の領域 2 への光のしみ出しが大きくなるからである。前述の構造のもとでの TM モードに対する消光比は  $69\text{dB}/\text{cm}$ 、前進波の損失を補償するのに必要な利得の大きさは  $2200\text{cm}^{-1}$  と見積もられた。TE モードの光アイソレータの最適な構造は導波路が单一モード導波条件下でできるだけリッジの幅を狭くすることによって得られる。

### 4.3 まとめ

GaAs:MnAs クラスターを用いた半導体導波路型光アイソレータの提案、解析を行った。TM モードに対しては 119dB/cm 以上の消光比が見積もられた。また最適なデバイス構造を議論した。さらに TE モードに対して動作する導波路型光アイソレータの構造を初めて提案し、36dB/cm の消光比が見積もられた。

#### (2) 得られた研究成果の評価及び今後期待される効果

本研究において得た成果は前記に詳述したが、中でも特に下記の成果が世界的にも初めて、あるいはユニークな点である。

##### ①四元混晶磁性半導体の関連では、

- InP 基板上に III-V 族ベース四元混晶磁性半導体[(InGa)Mn]As をエピタキシャル成長することに成功した。
- [(InGa)Mn]As はきわめて大きな磁気光学効果をもつ (MCD ~ 400 mdeg) ことを示した
- キュリー温度は 130 K に達することを示した。この値は、最近 GaMnAs で相次いで得られた高いキュリー温度(140 -160K)に匹敵する値である。また、今まで報告されている InMnAs や(InGaMn)As のキュリー温度の中では最高である。

##### ②GaAs:MnAs ナノクラスター構造とその多層膜の関連では、

- GaAs 中に MnAs ナノクラスターが埋め込まれた構造を形成し、その構造や物性制御に成功し、III-V 族半導体ヘテロ構造との整合性がきわめて良好であることを示した。
- MnAs 微粒子サイズが 10nm 以下では室温では超常磁性、10nm 以上では強磁性的振る舞いを示すことを明らかにした。
- 室温で大きな磁気光学効果 (ファラデー回転角 0.4 - 0.8 deg/ $\mu$ m) を得た。
- GaAs:MnAs ナノクラスターと GaAs/AlAs 多層膜分布プラグ反射鏡(DBR)を組み合わせた多層膜を形成し、所望の波長 (この場合 0.98 $\mu$ m 帯とした) の光が GaAs:MnAs 磁性層に閉じこめることによって (光の局在)、透過で磁気光学効果がきわめて大きくなることを示した。室温でのファラデー回転角は、単位膜厚換算で 4 deg/ $\mu$ m にも達し、この値は半導体材料の室温での磁気光学効果として最大である。
- 理論計算により、磁気光学効果の大きさとスペクトルを求め、実験結果をよく再現した。これにより、適切な多層構造を設計することができるようになった。これによって、光アイソレータ素子に必要なファラデー回転を得るための指針を示した。
- 理論と実験との詳細な比較検討により、光アイソレータ等の磁気光学デバイスを作製し動作させるためには、GaAs:MnAs ナノクラスター材料の光損失を低減させることが不可欠であることを明らかにし、その方策を示した。

##### ③半導体導波路型光アイソレータの関連では、

- GaAs:MnAs クラスターを用いた半導体導波路型光アイソレータの提案、解析を行った。TM モードに対しては 119dB/cm 以上の消光比が得されることを理論的に予測した。
- TE モードに対して動作する導波路型光アイソレータの構造を初めて提案し、36dB/cm の消光比を理論的に予測した。

引用回数が20回を越える論文としては、①に関連する研究では、磁性半導体のMnドーパントの局所構造評価に関する論文 (Applied Physics Letters 77, pp. 4001-4003 (2000))、および②に関する招待論文 (Semiconductor Science and Technology 17, pp. 327-341 (2002).) がある。

今後の展望や将来（遠い将来も含め）期待される効果としては、次のようなことが考えられる。半導体エレクトロニクスにおいては全く使われていないスピニ自由度を、半導体ベースの材料においてさらに積極的に活用できるようになれば、工学的応用と基礎科学両面にわたる広い範囲での成果が期待される。将来の高速光ネットワーク・光通信システムに要求される集積化型磁気光学デバイスの実現をはじめ、光アイソレータ、サーキュレータ、波長可変発光素子、光スイッチなどの実現が期待できる。また、超高密度・高速の不揮発性メモリ、再構成可能な論理回路、作製した後で再設計可能な”やわらかハードウェア”をもつリコンフィギュラブルコンピュータなど、情報の記録や情報処理技術においても革新的な半導体デバイスやシステムが実現でき、没落しつつある日本の半導体産業を再生させることができる可能性がある。ここ数年で急速に勃興しつつある「スピニエレクトロニクス」分野における方向性を定め、半導体エレクトロニクスや情報処理技術との融合という新しい分野を開拓することもできるであろう。

ここ数年、国内外でスピニや磁性の機能を半導体エレクトロニクスや光エレクトロニクスに用いようとする研究が、非常に盛んになりつつあり、こうした「半導体スピニエレクトロニクス（スピニトロニクスともいわれる）」の分野は、次世代のエレクトロニクスや情報処理技術に革新をもたらす可能性があるのと期待から、材料物性研究を中心に世界的に大きな関心を集めている。本研究グループ（田中グループ）はすでに10年以上前から基礎研究を開始しこの分野の誕生と発展に寄与してきたが、上記はこうした世界の研究状況のなかでも先頭に立つ成果であり、この新分野のさらなる発展をリードするものであるとして内外から注目されている。その証左の1つとして、国際会議における招待講演は、過去5年間で30回以上になる。

広い意味で本研究内容に関連する受賞としては、下記のものがある。

1) 応用物理学会講演奨励賞、2001年3月、清水大雅

清水大雅、田中雅明、安藤功兒

"半導体ベース1次元磁性フォトニック結晶における磁気光学特性の改善"

2000年秋季第61回応用物理学会、4p-ZN-10, 北海道工業大学、2000年9月  
における研究発表に対して。

2) 日本応用磁気学会・学術奨励賞（武井賞） 2001年9月 清水大雅

清水大雅、宮村信、田中雅明 "半導体ベース磁性フォトニック結晶"

日本応用磁気学会第24回学術講演会「ナノ・メゾスコピック磁性体の構造と機能」シンポジウム、2000年9月13日、早稲田大学 における研究発表に対して。

3) 丸文研究奨励賞（丸文研究交流財団） 2002年3月 田中雅明

「半導体スピニエレクトロニクスに向けた複合エピタキシャルヘテロ構造の創製」に関する研究業績

[http://www.marubun.co.jp/zaidan/h13\\_tanaka.jsp](http://www.marubun.co.jp/zaidan/h13_tanaka.jsp)

[http://www.marubun.co.jp/zaidan/pdf/h13\\_tanaka.pdf](http://www.marubun.co.jp/zaidan/pdf/h13_tanaka.pdf)

4) 第17回「日本IBM科学賞」 2003年11月 田中雅明

「磁性体/半導体ヘテロ構造のエピタキシャル成長とスピニエレクトロニクスへの展開」に関する研究業績

<http://www.ibm.com/news/jp/2003/11/11061.html>

<http://www-6.ibm.com/jp/company/society/science/p17th/tanaka.shtml>

### 3. 4 人工光物性に基づくデジタル光デバイスの研究（中野グループ）

#### (1) 研究成果の内容

本グループでは、半導体量子構造のエンジニアリングを通じて半導体媒質の光物性を変革し、それを利用して光デバイスの性能を飛躍的に高めること、およびそれに基づき新たな全光制御デバイス（デジタルフォトニックデバイス）を提案、試作開発することにつき、研究を行った。

#### 1. 量子井戸電界吸収光非線型性を利用した全光制御デバイス

本研究では、多重量子井戸(MQW)電界吸収(EA)光変調器における光誘起屈折率変化を利用することで、全光制御デバイスを実現せんとした。プロジェクト開始当初は、プリバイアス量子井戸を用いた電界吸収型光変調器の偏光無依存化、非対称結合3重量子井戸による電界吸収型光変調器の負チャーピ化、応力補償プリバイアス量子井戸による偏光無依存性と負チャーピ性の両立、非対称3重結合量子井戸による巨大電界屈折率効果の発現に関し研究を実施した。図1および2に、本研究で提唱した $1.55\text{ }\mu\text{m}$ 帯 InGaAs/InAlAs/InP 非対称3重結合量子井戸構造と、対応する吸収スペクトル、屈折率変化スペクトルを示す。量子井戸へのわずかな電界印加により、電子と正孔の結合状態から非結合状態への急峻な遷移が発生し(図1)，それにともなって広い波長範囲に渡る吸収係数の低下が生じる。その結果、吸収端の外の使用波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ においても、極めて大きな負の屈折率変化を得ることができると予測された(図2)。

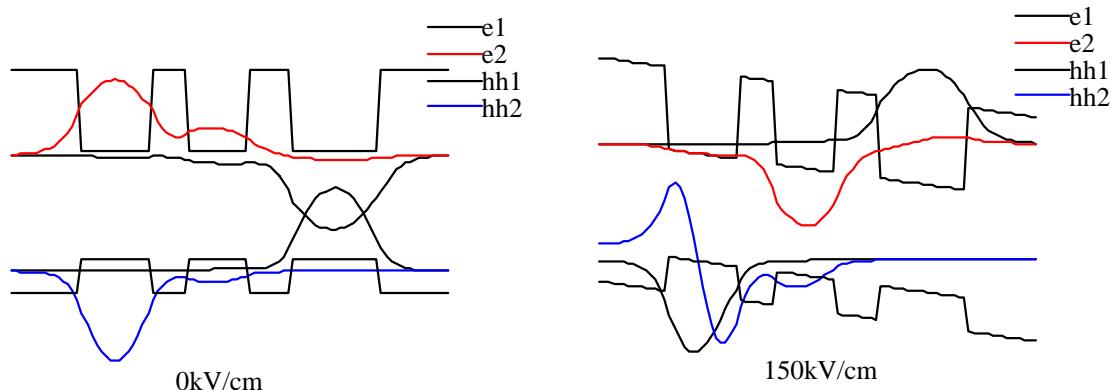


図1 巨大電界屈折率変化を生じる非対称3重結合量子井戸構造

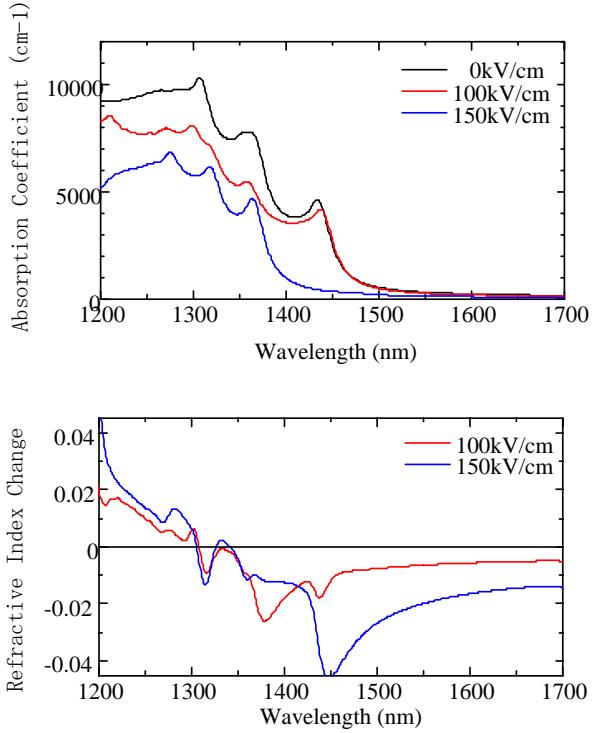


図2 吸収係数と屈折率スペクトルの印加電界依存性

次に、上記非対称3重結合量子井戸による巨大電界屈折率効果を光スイッチに応用すべく、マッハツエンダー干渉計型光スイッチの試作プロセスの確立を行った。図3に試作した素子の構造概念図を示す。第一次試作では、位相変調領域の媒質はフォトルミネッセンス波長 $1.41\mu\text{m}$ のバルクInGaAsPとした。多モード干渉(MMI)カプラの小型化と、変調電界と光導波モードの重なりを大きくする目的で、導波路はポリイミド埋め込みハイメサ構造としている。その形成には、平成12年度に開発したメタン水素／酸素サイクリック反応性イオンビームエッチングを利用した。位相変調領域の導波路断面走査電子顕微鏡写真を図4に示す。また図5は、試作素子の光スイッチング特性を波長 $1.55\mu\text{m}$ のTEモードに対し測定評価した結果である。スイッチング電圧は3Vと、バルク光スイッチのそれとしては大変小さな値が得られた。これより位相変調部の長さとスイッチ電圧の積を計算すると $1.5\text{V}\cdot\text{mm}$ となり、従来報告されている中で最小値と思われる。偏光依存性、波長依存性も小さく、光スイッチ構造として極めて優れていることが分かった。これより、本研究で提案した量子井戸電界吸収光変調器(EAM)を光非線型媒質として用いるマッハツエンダー干渉計型全光スイッチ(図6)に向けた第一ステップがクリアされた。

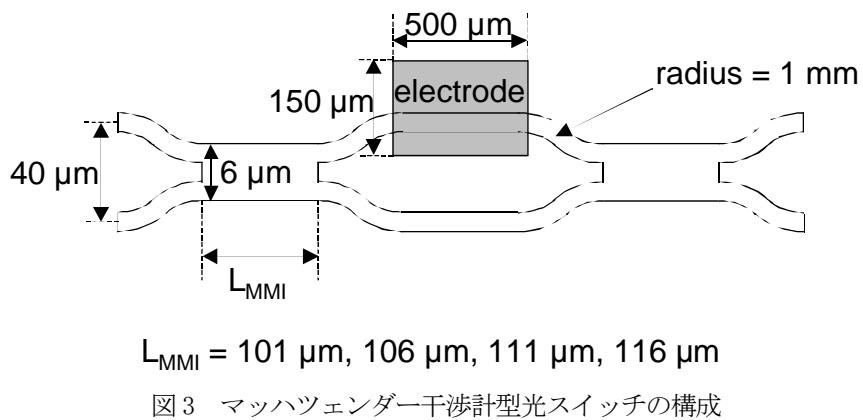


図3 マッハツエンダー干渉計型光スイッチの構成

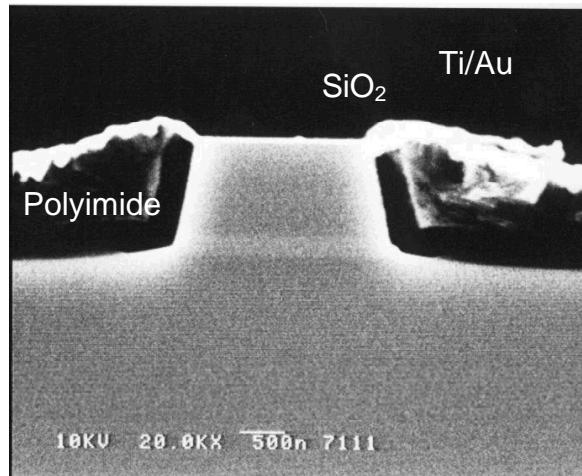


図4 ポリイミド埋め込みハイメサ光導波路の断面電子顕微鏡写真

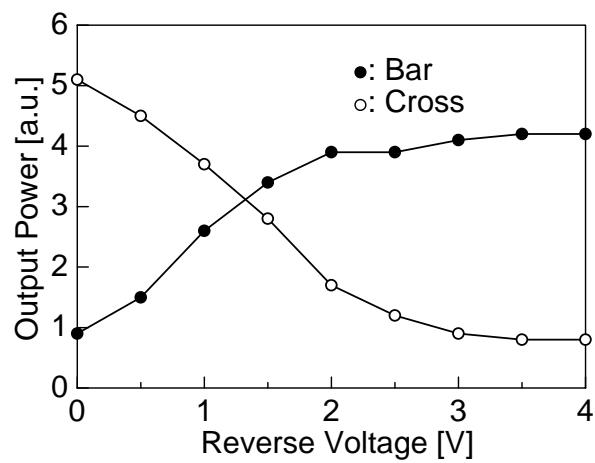


図5 光スイッチング特性の測定結果

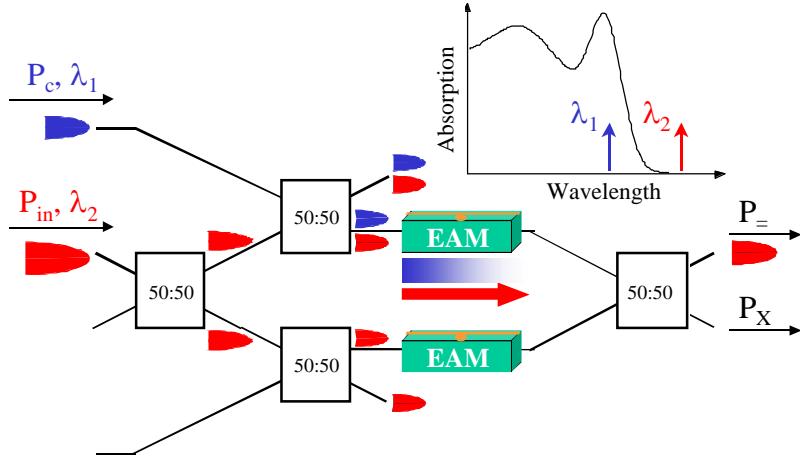


図6 EAMに基づく全光スイッチの概念図

次に平成13年度は、MQW-EA変調器における光誘起屈折率変化の偏光依存性を用いた、簡便な波長変換（全光スイッチ）の方式を提案し、動作解析および全光波長変換実験を行った。ここで提案する波長変換の方式を図7に示す。シグナル光を光変調器に入射することにより吸収飽和が起こり、その結果屈折率変化が生じるが、その変化量には偏光依存性がある。プローブ光の偏光を、シグナル光がオフの時に変調器の出射端においてx軸から45度傾いた状態にし、それに直交するように偏光子を配置する。シグナル光を入射し屈折率変化が起こり、プローブ光のTE偏光とTM偏光の位相差が $\pi$ に達すると、図に示すように、変調器の出射端でのプローブ光の偏光が $\pi/2$ 回転し、偏光子を透過するようになる。格子整合InGaAs/InAlAs多重量子井戸EA変調器を用いた際の波長変換特性をシミュレーションしたところ、+3dBm程度のシグナル光強度で波長変換の実現できることが予測された。

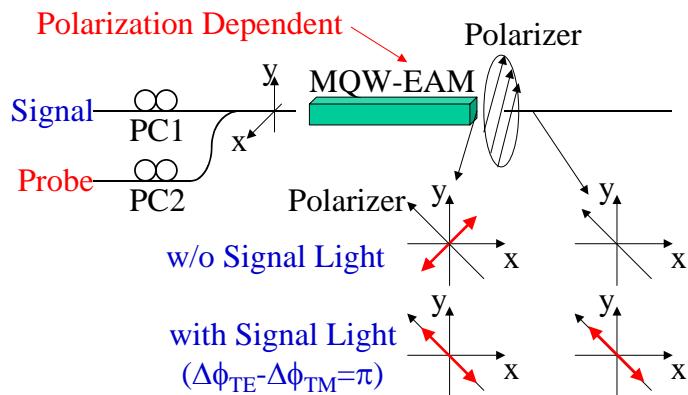


図7 波長変換器の構成と偏光状態

続いて素子の試作・検証実験を行った。量子井戸は試作の都合上、今回は上記のInGaAs/InAlAsではなく、0.8%の圧縮歪を加えたInGaAsP/InGaAsP多重量子井戸とし、MOVPEにより成長作製した。このエピタキシャル基板上に素子長325μmのリッジ導波路型EA光変調器を作製し(エキシトン波長=1525nm(TE偏光), 1420nm(TM偏光)), 全光波長変換実験を行った。プローブ光の波長を1560nmに固定し、シグナル光の波長は1555nmまたは1565nmとした。図8はMQW-EA変調器の逆バイアス電圧を0Vまたは1Vに設定した場合の波長変換特性

である。予測通り、図 7 のような極めて簡単な構成で、低パワーで動作する全光波長変換の得られていることが分かる(図 8 の横軸は、結合損失を含めた値なので、実際の動作パワーはこれよりさらに数 dB 程度小さい)。シグナル光パワーが -5dBm から 5dBm に変化する間に、プローブ光パワーは 23dB 変化した。即ちこの波長変換には S/N 比改善の効果がある。また、1565nm から 1560nm への変換(ダウンコンバージョン)も 1555nm から 1560nm への変換(アップコンバージョン)も同様の特性で可能であることが分かる。逆バイアス電圧を高くすると動作速度は向上するが、吸収端が動作波長に近づくため挿入損失が大きくなる。

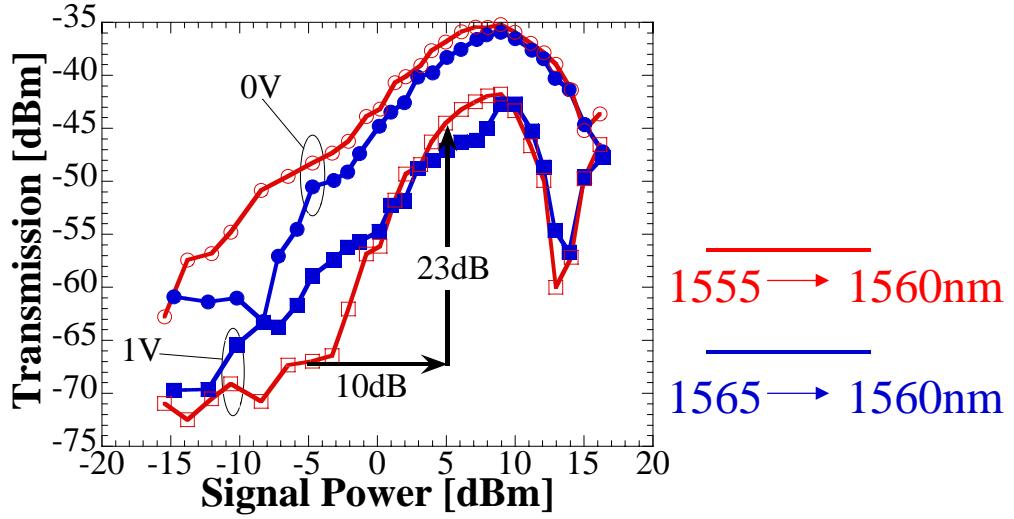


図 8 全光波長変換の静特性(実験)

EA 変調器を光非線型媒質として用いた全光制御デバイスのもう一つの実現形態として、方向性結合器と EA 光非線型媒質を組み合わせたデジタル的伝達関数を有する全光スイッチ・光ゲート(DC EA)を試作開発した。図 9 に素子の構造概念図を示す。方向性結合器は完全結合長になるように設計されており、制御光のない状態では被制御光がクロスポート(出力ポート 2)から出射する。制御光が存在する場合、EA 媒質の光誘起屈折率変化により方向性結合器が非結合状態になり、被制御光はバーポート(出力ポート 1)から出射するようになる。素子は、MOVPE により成長される InGaAsP 系多重量子井戸をベースに試作した。試作素子の上面電子顕微鏡写真を図 10 に示す。作製された DC-EA 型光スイッチの全スイッチング動作を、 $1.55\mu m$  帯のパルス光を用いて測定した結果が図 11 である。制御光の強度が増すと、被制御光のバーポートからの出力(実線)が閾値特性をもってターンオンすることがわかり、予測通りのデジタル全光スイッチ動作の得られることが実証された。

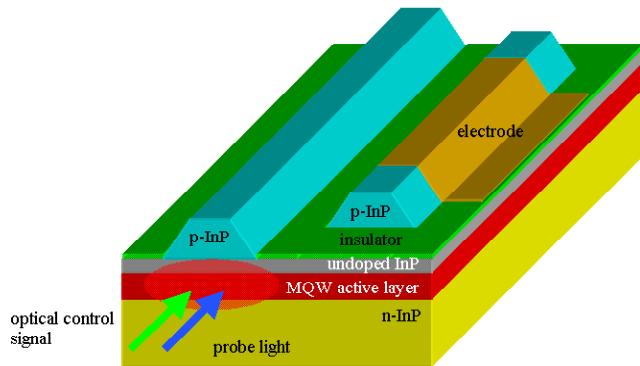


図9 DC-EA型全光スイッチの構造概念図

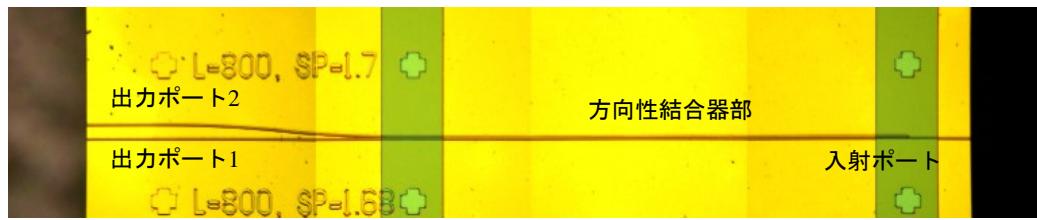


図10 試作チップの光学顕微鏡写真

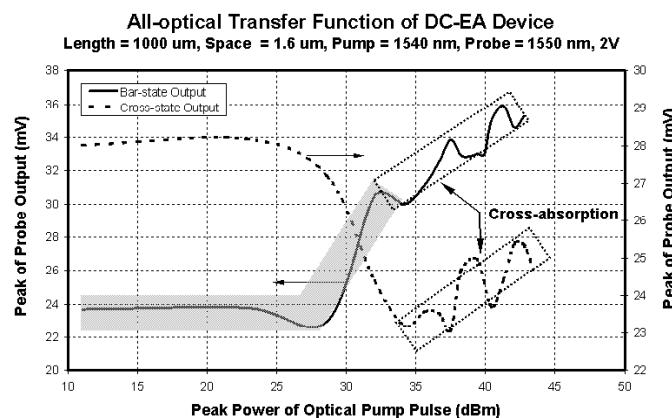


図11 DC-EA型全光スイッチの動作特性

## 2. MOVPE による AlN/GaN 多重量子井戸サブバンド間遷移全光スイッチ

量子井戸／超格子におけるサブバンド間遷移を用いると、バンド間遷移を用いる場合に比べ光子制御デバイスの動作速度を格段に向上することができる。ただし、光通信で重要な 1.3– $1.55 \mu\text{m}$  帯のサブバンド間遷移を実現するには、伝導帯オフセットの大きな材料を用いる必要がある。本研究では、AlN/GaN 多重量子井戸／超格子構造を用いてこれを行うことを計画し、その MOVPE による結晶成長技術から研究を開始した。この超格子は AlN と GaN の間に存在する大きな格子定数差のために、容易にクラックが入ることが問題である。ここでは結晶成長条件の最適化を通じてクラックフリーの超格子構造を得ることに成功し、またそのように成長したサンプルにおいて、世界最高レベルの 2 次元電子ガス移動度の得られていることが確認され、良好なヘテロ界面であることが示された。

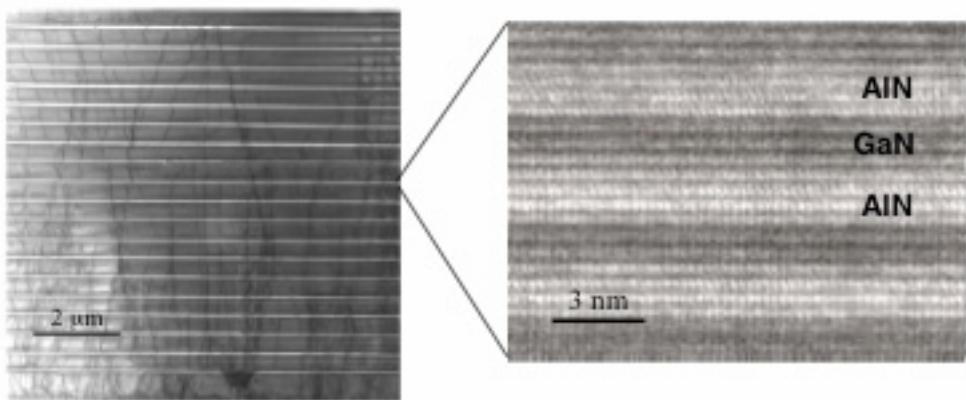


図 12 GaN インターレイヤを導入した GaN/AlN 多重量子井戸の透過電子顕微鏡写真

平成 14 年度には、サブバンド間遷移(ISBT)光吸収を得ることに成功し、MOVPE 成長窒化物系量子井戸における ISBT 光吸収波長の世界記録( $2.9 \mu\text{m}$ )を大幅に塗り替える世界最短波長( $2.3 \mu\text{m}$ )を達成した。成功の鍵は、結晶の品質を保つため、一定周期毎に GaN 層間膜を挿入したことである（図 12）。成長試料において吸収スペクトルを測定した例を図 13 に示す。GaN/AlN 多重量子井戸において、 $2.3 \mu\text{m}$  での光吸収が確認される。これより、本研究においてこれまで開発してきた界面制御技術の優位性が示された。

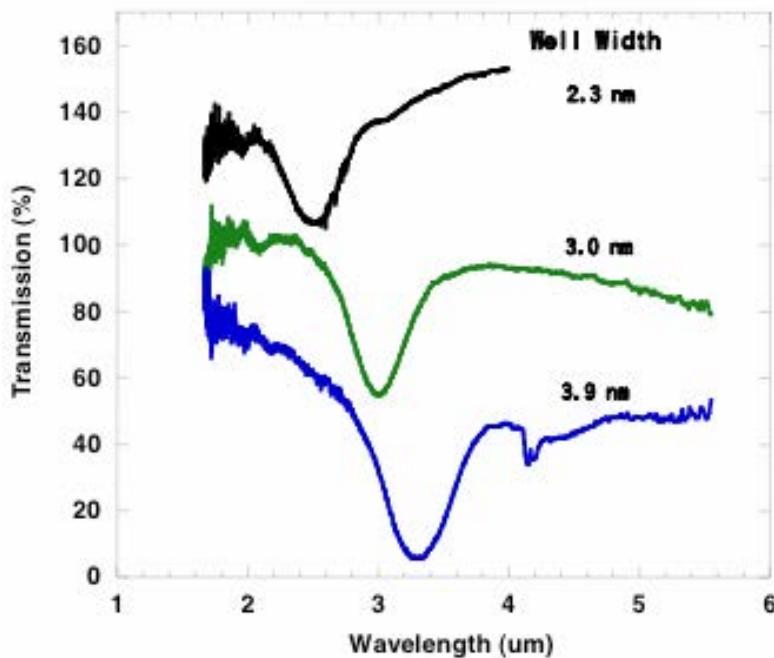


図 13 GaN/Al(Ga)N 多重量子井戸の光透過スペクトル

平成 15 年度は、全光スイッチ作製へのステップとして、GaN/Al(Ga)N 多層積層構造のハイメサ導波路化（図 14）を目指して研究を行った。GaN 系材料は極めて硬い材料系であるため、アスペクト比の高いハイメサエッチングやスムーズなエッチング側壁を得ることは一般に困難である。ここでは、誘導結合プラズマ(ICP)反応性イオンエッチングを用いることによって、GaN/Al(Ga)N 多層構造の高アスペクト比、高速エッチングに成功した。エッチャントには塩素を用いたが、バイアス電力を上げかつ Ar を付加的に導入することで垂直性の向上することが分かった。塩素流量 8sccm、アルゴン流量 2sccm、エッチング圧力 7Pa、プラズマ源電力 300W、バイアス電力 175W の時、垂直性、平滑性、エッチングレートのバランスが最も良くなることがわかり、その際のレートは 152nm/分と比較的高速であった。図 15 に作製された GaN/Al(Ga)N 多重量子井戸ハイメサ導波路(幅  $4 \mu\text{m}$ 、高さ  $4.6 \mu\text{m}$ )の断面電子顕微鏡写真を示す。平滑かつ垂直な側壁の得られていることがわかる。試作された導波路に波長  $1.55 \mu\text{m}$  の光を導波させた結果を同図に示した。誘電体光導波路として良好な特性を有することが確認された。

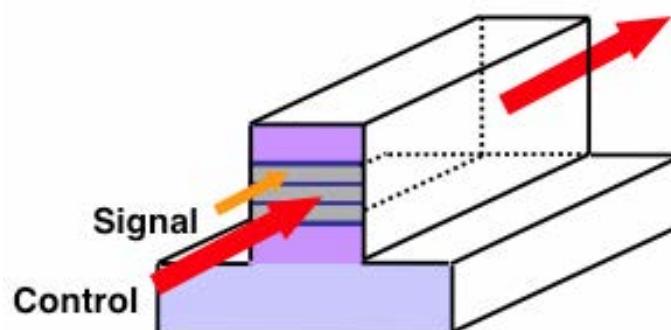


図 14 ハイメサ導波路全光スイッチの概念図

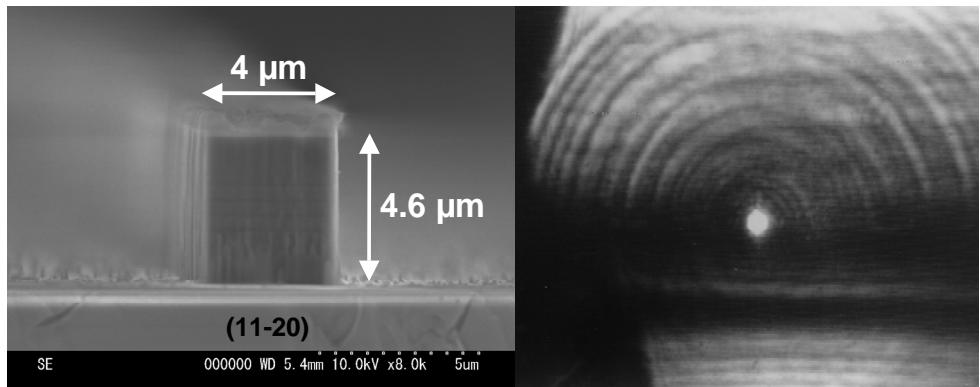


図 15 GaN/Al(Ga)N 多重量子井戸ハイメサ導波路断面電子顕微鏡写真と  
1.  $55 \mu\text{m}$  導波光出射近視野像

### 3. 量子構造を利用した半導体レーザの制御

平成 14 年度成果のハイライトの一つは、InGaAsP 歪超格子のパルス YAG レーザ照射による無秩序化を利用して、5 波長利得結合(GC)分布帰還型(DFB)半導体レーザアレイの発振波長トリミングに成功したことである。InGaAsP 圧縮歪超格子の屈折率は、無秩序化により大きく上昇する。このような屈折率調整層を DFB レーザの活性層近傍に設け、外部からレーザ光照射により適切な量だけ無秩序化を生じさせれば、発振波長をレーザ作製後に微調節することが可能となる(発振波長トリミング)。ここでは、 $1.55 \mu\text{m}$  帯 InGaAsP GC DFB レーザに InGaAsP 歪超格子トリミング層を導入した 5 波長アレイを作製し、パルス YAG レーザによるトリミングを施して、作製直後の WDM 波長チャネル間隔誤差を消去することができることを世界で初めて実証した(図 16)。

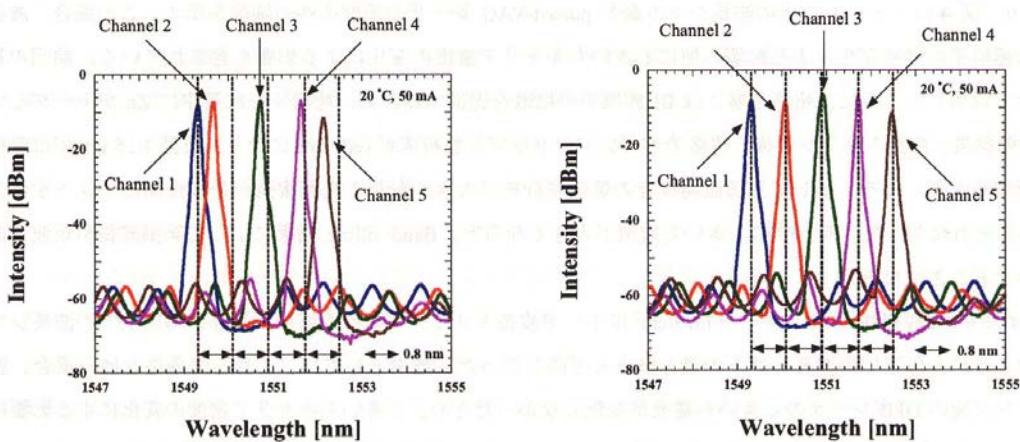


図 16 5 波長 GC DFB レーザアレイの波長トリミング前後の発振スペクトル

利得結合 DFB レーザの究極の形態は、活性層を量子細線化し、利得媒質と利得格子の両方の役割を演じさせることである。本研究では、 $1.55 \mu\text{m}$  帯の量子細線の作製法として「マストランスポート法」をとりあげ、V 溝 InP 基板上に InAsP 圧縮歪み量子細線を形成することにも取り組んだ(図 17)。このようにして形成される量子細線は歪みの分布が特異になりそれとともになってバンド構造も大きく変形することが理論計算により明らかになった。図 18 は量子細

線近傍における伝導帯電子のバンド端エネルギーの分布を可視化したものであり、図 19 は量子細線と障壁領域の材料の組み合わせに対する量子細線中心軸上のバンド端エネルギーの依存性を示したものである。バルクにおいては大きな InAsP/InGaAsP 界面の伝導帯バンド不連続量が、量子細線構造においては小さくなってしまうことがわかる。マストランスポートにより実際に作製された InAsP 量子細線のフォトoluminescenceスペクトルを図 20 に示す。埋め込みバリアー材料の組成により歪み場が変化し、量子細線からの発光の様子が大幅に変化することが見て取れる。実験結果と理論歪み場解析によるバンド構造との詳細な比較検討を実施中である。プロジェクトは終了したが、本量子細線を用いた DFB レーザの試作開発を引き続き行ってゆく。

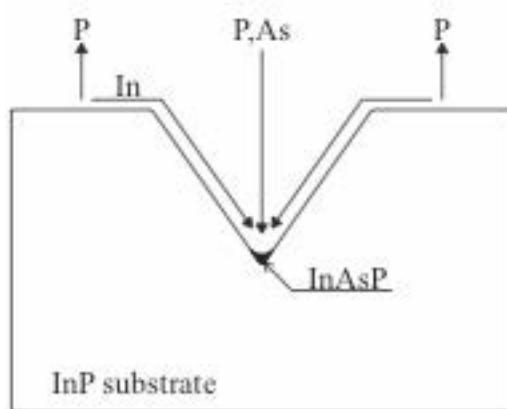


図 17 マストランスポートによる InAsP 圧縮歪み量子細線の形成

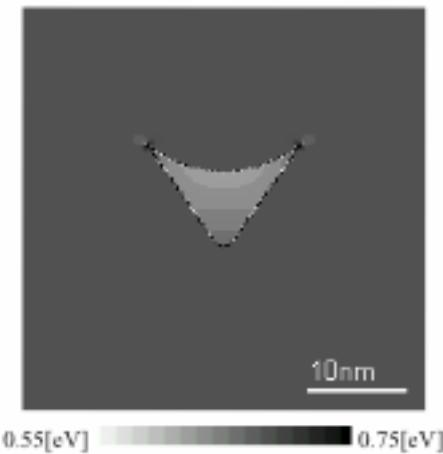


図 18 量子細線近傍の伝導帯電子のバンド端エネルギーの分布

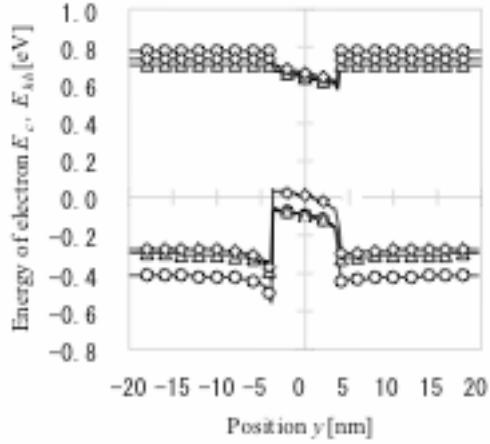


図 19 InGaAsP に埋め込まれた InAsP 量子細線の中心軸上のバンド端エネルギー

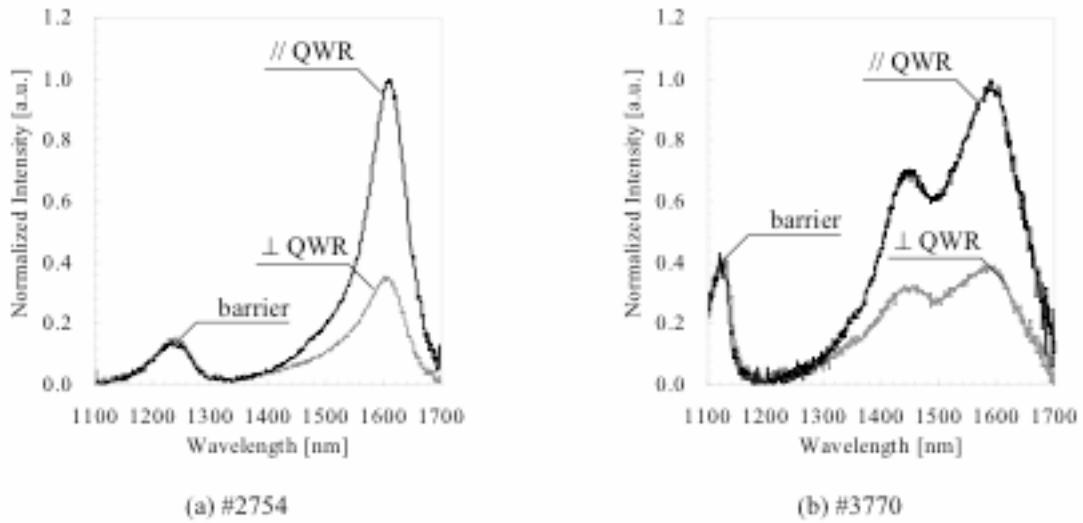


図 20 InAsP 量子細線からのフォトルミネッセンス

(a) は  $1.25 \mu\text{m}$  組成, (b) は  $1.15 \mu\text{m}$  組成の InGaAsP で埋め込んだ場合

#### 4. 全光論理ゲートの研究

デジタルフォトニクスの根幹を形成するデバイスとして、光論理ゲートがある。論理ゲートとフリップフロップが揃うと、組み合わせ論理回路、順序論理回路が可能になり、原理的には任意のデジタル回路が合成されるようになるからである。本研究課題では、霜垣グループと連携して、MOVPE の選択成長を利用した光論理ゲートの試作開発に臨んだ。

MOVPE 選択成長に関しては、霜垣グループの報告に詳しく述べられている。ここでは、InGaAsP 量子井戸の選択成長により、図 21 に示すような 200nm 以上も異なるフォトルミネッセンス波長を、同一基板上の一回のエピタキシャル成長により得ることができるようになった。本技術を適用して、図 22 に示す半導体光増幅器(SOA)集積化マッハツエンダー干渉計型光論理ゲートの試作開発を行った。選択成長を用いることにより、一回の結晶成長で、SOA 部、位相変調器部、導波路部に別々のバンドギャップエネルギーを付与することができ、かつ素子の収率を従来の手法に比べ著しく向上することができた。図 22 のバイアス条件で素子を駆動し、実際に光ゲート動作を測定した結果が図 23 である。制御光の注入により、被制御光（クロスポート

出力) が 20dB の消光比で ON/OFF されることがわかる。山下グループの協力を得て、同素子のスイッチング時間窓を測定したところ、28ps という値が得られ、同素子の高速動作特性が確認された。

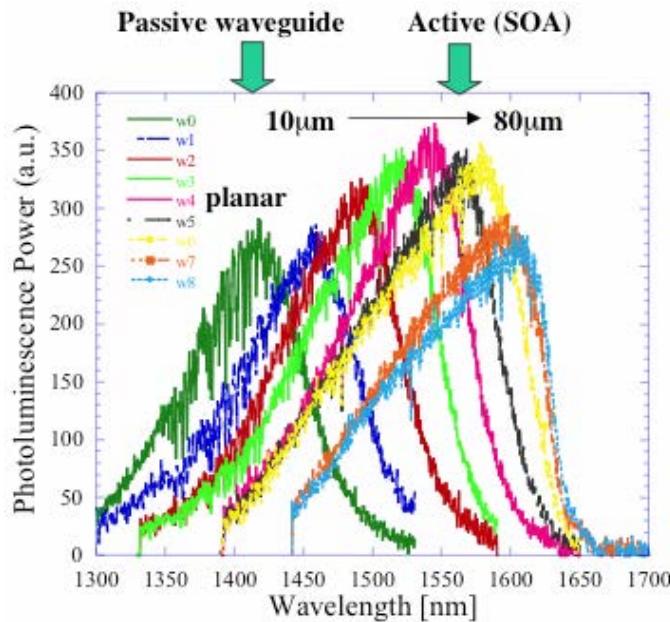


図 21 MOVPE 選択成長により一括形成された各領域からのフォトoluminescens

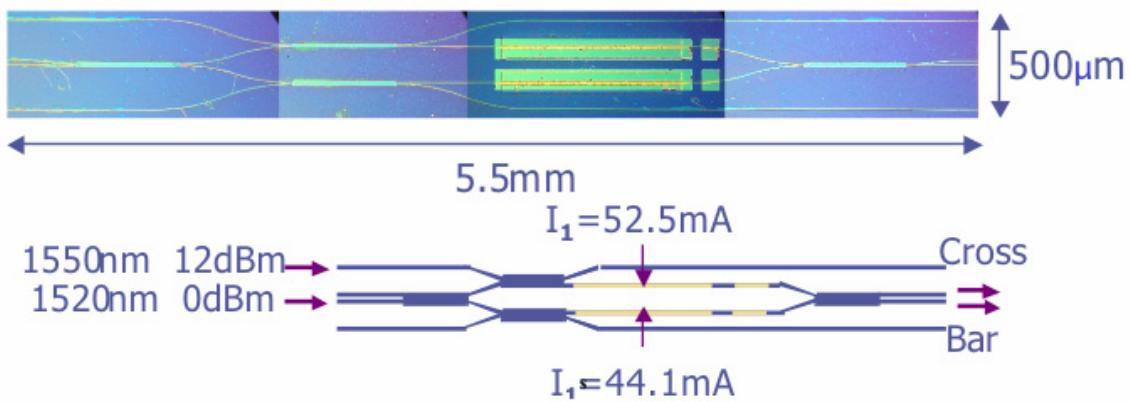


図 22 試作されたデバイスチップの顕微鏡写真と構造模式図

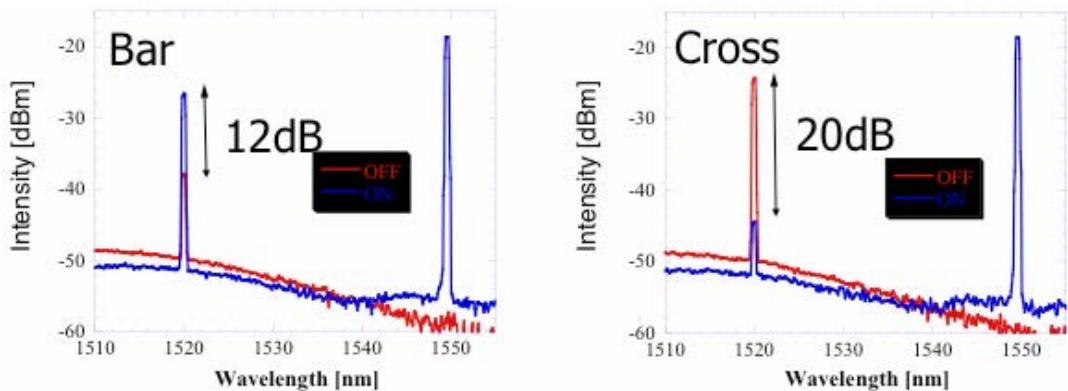


図 23 全光ゲート特性の測定結果

## 5. 全光フリップフロップの研究

全光フリップ・フロップは、光パケットのバッファメモリやビット長変換などの役割を果たすものとして、デジタルフォトニクスの中核を形成するデバイスである。平成13年度には、電極分離方向性結合器型半導体レーザ構造を有する光双安定レーザ(DC-BLD,図24)によって、全光フリップ・フロップが実現できることを提案した。まず、同素子の動作特性の理論解析を行った。大きな光非線型性を持つ半導体可飽和吸収領域を有する方向性結合器の特性を正確に解析するために、有限差分ビーム伝搬法(FD-BPM)を用いた。レート方程式と組み合わせることで、キャリアと光子の相互作用を考慮した静特性を計算した。リセット・ポートから光を注入した場合の出力特性の解析結果を図25に示す。リセット光により、方向性結合器の結合定数が増加することで発振が停止する。リセットするための入射強度は0 dBm程度で良いことが分かった。以上の結果より、方向性結合器型双安定性レーザによる全光フリップ・フロップの実現可能性が確認された。

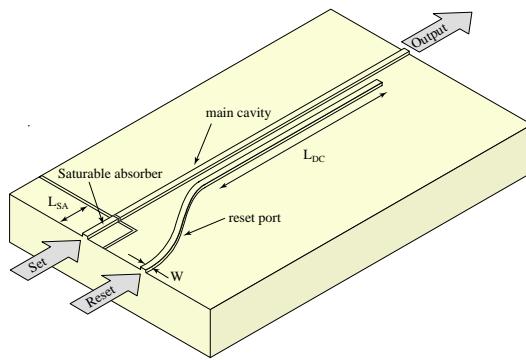


図24 DC-BLD型全光フリップフロップの概念図

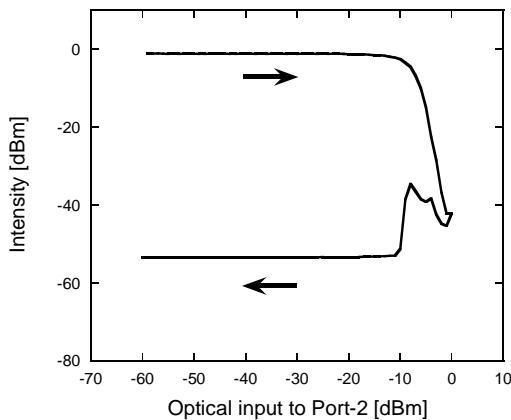


図25 全光フリップフロップのスイッチオフ特性のシミュレーション

次に、素子の試作プロセスを検討した。本構造では、方向性結合部の近接する一対の半導体能動導波路の電極を電気的に分離することが必要である。ここでは、電極を斜め蒸着することで、自己形成的に電極分離することを考えた。まずMOVPEによってInP基板上に+0.8%圧縮歪み多重量子井戸構造(バンドギャップ波長=1.55 μm)を成長し、リッジ導波路半導体レーザの標準的作製プロセスを利用して素子を作製した。上部電極であるAu/Tiを電子線真

空蒸着装置によって 75 度の入射角度で蒸着した。斜めから蒸着することで導波路のリッジが影となり、方向性結合器の導波路間に電極が蒸着されなかった。このことを利用して、方向性結合器の電極を自己形成的に分離した(図 26)。電極間の分離抵抗を測定したところ、 $130 \Omega$  であった。実際にそれぞれの導波路に電流注入したところ、電流注入していない導波路からはほとんど光が放出されず、方向性結合器の電極分離が成功していることを確かめた。これにより、二つの導波路を独立に電流バイアスすることが可能となった。.

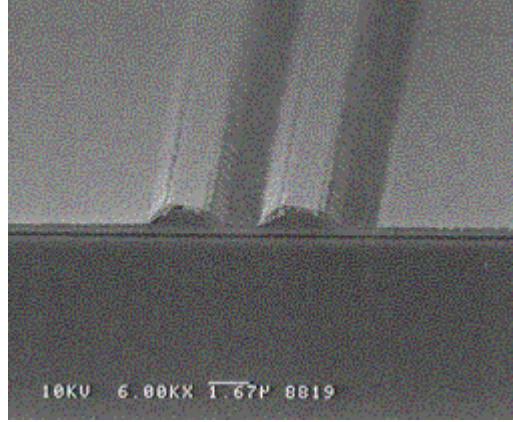


図 26 能動方向性結合器部分の電極分離(電子顕微鏡写真)

平成 14 年度には上記の準備を基に、全光フリップフロップデバイスの試作を実際に行った。前年度に開発した電極分離プロセスを適用し、主共振器部とリセットポートとを独立に電流バイアスできるようになっている。また、可飽和吸収部も独立バイアス可能な構造とした。活性層は圧縮歪 InGaAsP 多重量子井戸である。試作素子の上面チップ写真を図 27 に示す。試作素子において、全光フリップフロップ動作静特性を測定評価した。その結果を図 28 に示す。前年度までに理論で予測した通りの全光セットリセットフリップフロップ動作が確認された。制御に必要な光パワーもセット時  $6\text{dBm}$ 、リセット時  $-3\text{dBm}$  と小さく、これらは数 dB 程度の結合損失を含んでいる値なので、実際に必要な光パワーはこれよりさらに小さい。

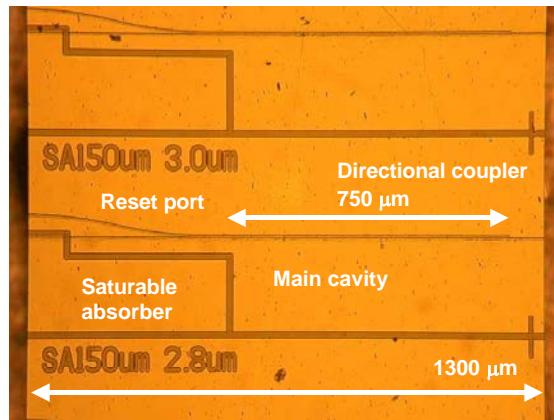


図 27 チップ上面の光学顕微鏡写真

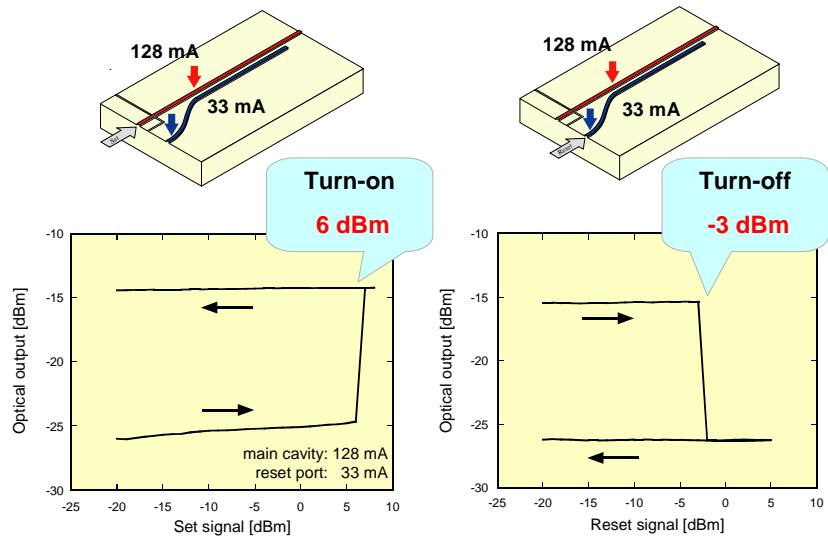


図 28 全光フリップフロップ動作実証

平成 15 年度には、前年度までに開発した DC-BLD 全光フリップフロップの、小型化、動作電力低減化の試みを行った。図 29 に新たに設計した素子のマスクデザインを示す。導波路間隔を  $1 \mu\text{m}$  に狭めることにより、方向性結合器長を  $200 \mu\text{m}$  まで短縮した。またセット・リセット制御光入射ポート間隔を  $20 \mu\text{m}$  に狭めて導入部 S 字導波路長を  $250 \mu\text{m}$  に短縮した。その結果、全素子長は  $1.3\text{mm}$  から  $500 \mu\text{m}$  に小型化された。前年度に開発した電極分離プロセスを適用し、主共振器部とリセットポートとを独立に電流バイアスできるようになっている。また、可飽和吸収部も独立バイアス可能な構造とした。試作された改良素子の上面チップ写真を図 30 に示す。試作素子において、全光フリップフロップ動作静特性を測定評価した。動作電流は  $59\text{mA}$  と前年度に比べ半分に、また制御に必要な光パワーもセット時- $3\text{dBm}$ 、リセット時- $9\text{dBm}$  と、それぞれ前年度の  $1/4$  に低減することに成功した。素子の小型化に伴い、動作速度は 2 倍に向上すると予測される。

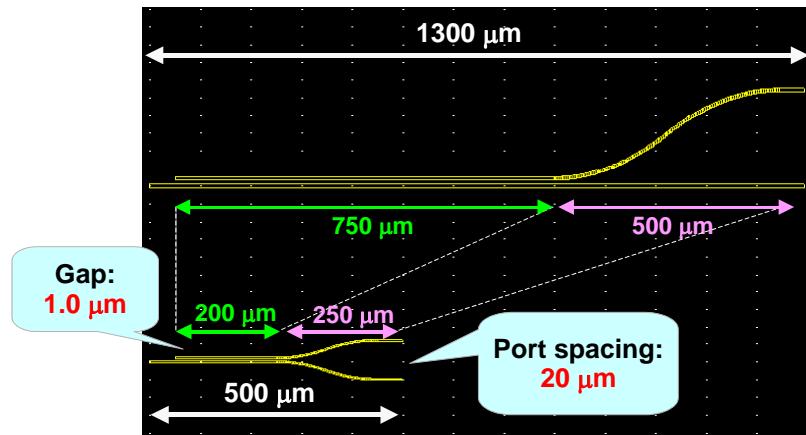


図 29 15 年度試作方向性結合全光フリップフロップの改良マスクパターン

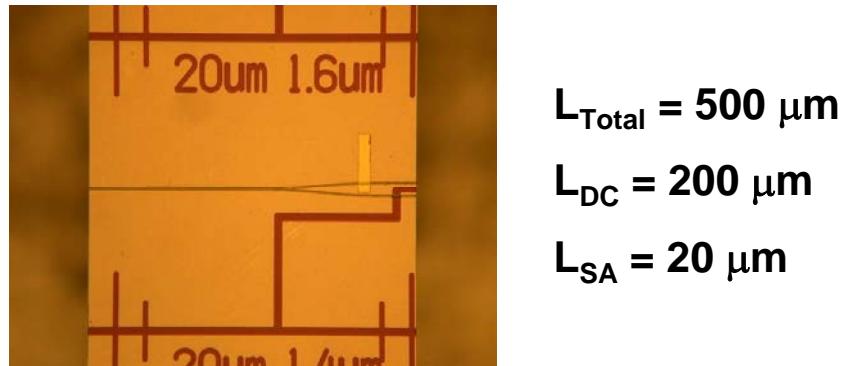


図 30 改良チップ上面の光学顕微鏡写真

次に、DC-BLD 型全光フリップフロップよりも高速な動作が期待される、多モード干渉結合器双安定レーザ構造(MMI-BLD)の全光フリップ・フロップを研究した。図 31 に素子の概念図を示す。2×2 の MMI レーザに可飽和吸収部を集積化した構造である。前出の全光フリップフロップに比べセット状態、リセット状態間でのキャリア密度分布の変化が小さいため、動作速度は 40Gbps を越えるものと予測される。InGaAsP 圧縮歪み多重量子井戸を活性層に持つ同素子を、MOVPE その他の技術を駆使して試作した。試作チップの上面顕微鏡写真を図 32 に示す。

同素子において、全光セットリセットフリップフロップ動作検証を行った結果を、図 33 に示す。消光比 10dB 以上でかつ良好な立ち上がり、立ち下がりのセットおよびリセットラッシング出力の得られていることがわかる。同素子の縦続接続にむけた新たな分布反射型端面構造に関しても提案、研究した。

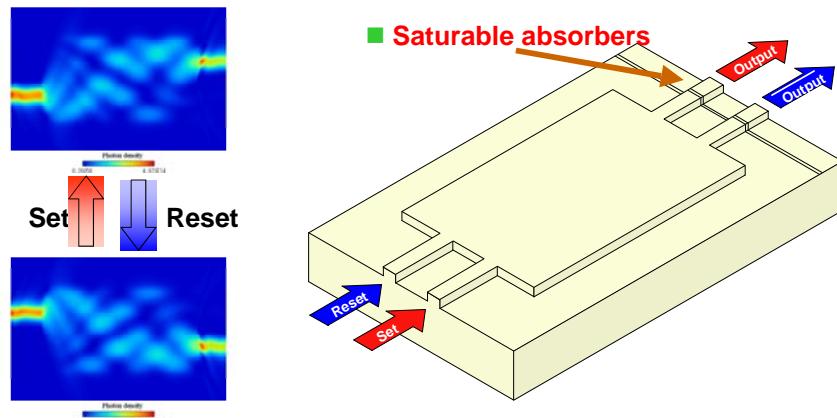


図 31 MMI-BLD 型全光フリップフロップの概念図

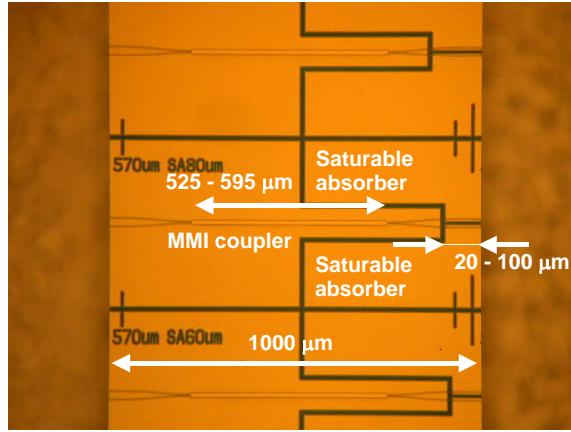


図 32 MMI-BLD チップ上面の光学顕微鏡写真

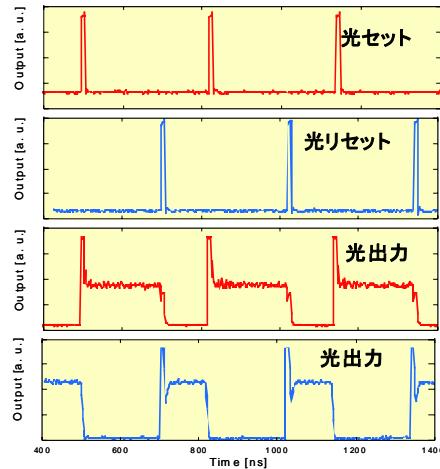


図 33 MMI-BLD 全光セットリセットフリップフロップ動作

## 6. 半導体能動導波路型 光アイソレータの研究

デジタルフォトニクスを実現する上で、光非相反性の獲得は極めて重要である。光信号が逆流すると、順序論理回路の動作が保証できなくなるからである。そのため、本研究課題では、小型簡便な光アイソレータの試作開発を目指した。ここで使われているアイソレーションの原理は、研究代表者のグループが以前に提案した「非相反損失シフト」である。しかし同原理を実験的に示した例はなく、また例え実現しても TM モードにしかアイソレーションが生じない問題があった。本プロジェクトは、上記の問題を解決し、実用上重要な TE モードに対するアイソレーションを、実験的に世界で初めて達成した。

図 34 に素子の構造模式図を示す。TE モードに非相反損失シフトを与えるため導波路側壁を精密に垂直加工し、金属鉄を最適な距離に配置する。磁場を上下方向に印加することにより、非相反損失シフトが生じる。順方向に伝搬する光波に生じる損失に対しては、電流を注入し量子井戸活性層に利得を発生させて補償するものである。

MOVPE により InGaAsP 圧縮多重量子井戸活性層を有するエピタキシャルウェーハを作製し、ICP 反応性イオンエッチングにより垂直ハイメサ導波路加工を行う。酸化チタン膜を絶縁層として鉄を側壁から電子ビーム蒸着し、利得発生用の電極加工を行った。図 35 に試作素子の断面

走査電子顕微鏡写真を示す。模式図とほとんど同じ形状が実現されていることがわかる。

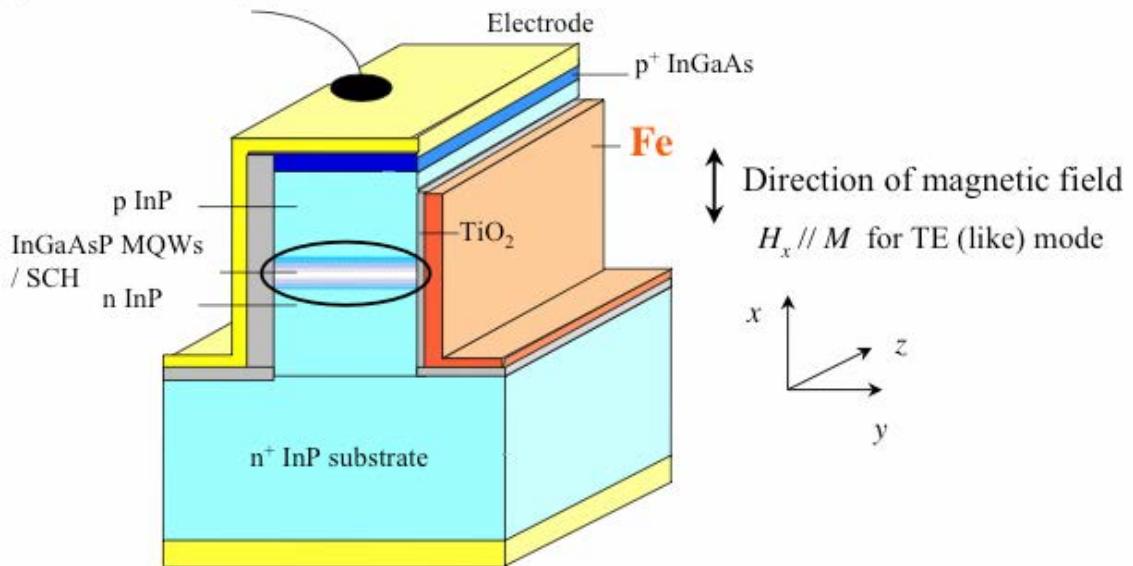


図34 能動導波路型TEモード光アイソレータの構造概念図

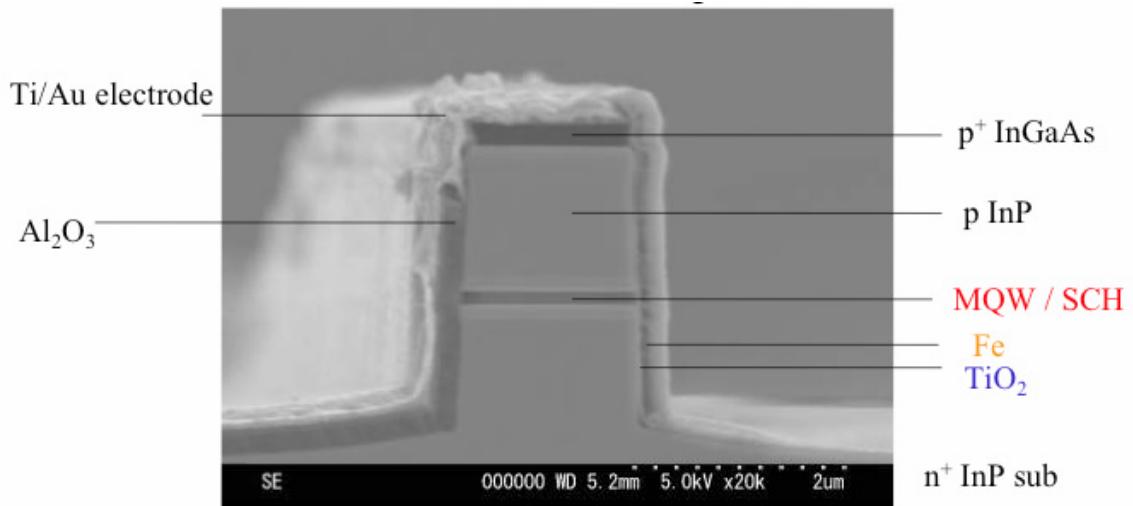


図35 試作素子の断面電子顕微鏡写真

素子に上下方向に磁場をかけ、極性を反転させて能動導波路を伝搬する  $1.55 \mu\text{m}$  光波の透過特性を測定した。その結果を図36に示す。TE偏光に対し、 $1\text{kG}$  の磁場を反転することにより  $7\text{dB}$  の非相反損失変化が観測された。これは  $9.3\text{dB/mm}$  のアイソレーション比に相当する。この成果により、小型・モノリシックな光アイソレータを実現する道が拓けたものと考えている。

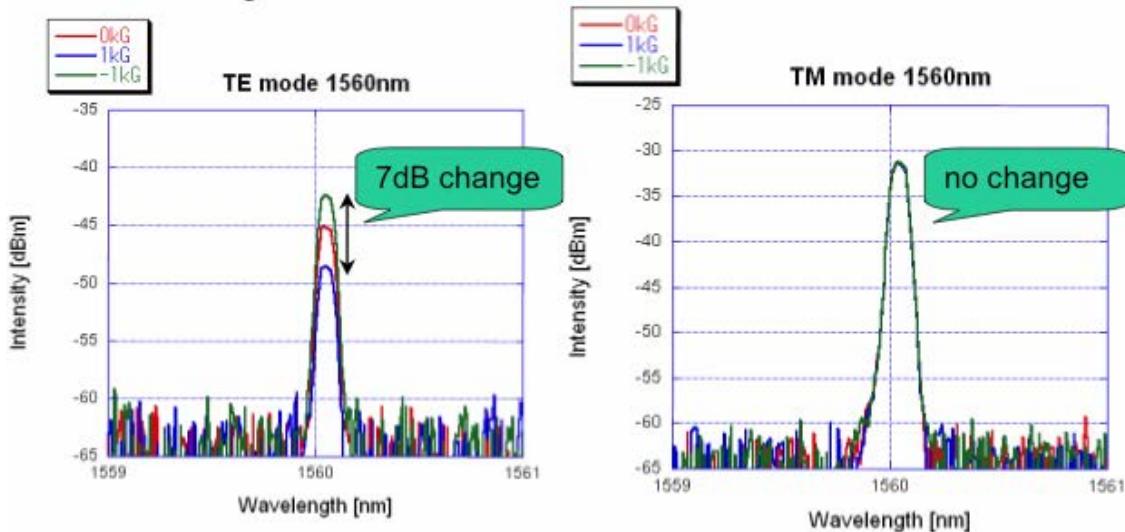


図 36 磁場印加時の光透過特性. TE モードのみに非相反特性が現れている

## (2) 得られた研究成果の評価及び今後期待される効果

本テーマで得られた数々の成果の内、特に顕著なものは以下の通りと考えている：

### ■AlN/GaN 多重量子井戸 サブバンド間遷移全光スイッチ

MOVPE 窒化物サブバンド間遷移で世界最短波長(2.3 μ m), ICP エッチングによる低損失なハイメサ光導波路作製

### ■SOA 集積 マッハツエンダー干渉計型全光論理ゲート

一回の MOVPE 選択成長による作製(世界初), 全光スイッチ動作(消光比 20dB), 高速動作特性の検証(スイッチングウインドウ 28ps)

### ■DC/MMI BLD 型 全光フリップフロップ

全光セットリセット動作(世界初), 低エネルギー動作(- 10~0dBm), ビット長変換動作検証(10ns→200ns)

### ■半導体能動導波路型 光アイソレータ

半導体導波路における非相反損失シフトの観測(世界初), アイソレータプロトタイプの試作(非相反損失 9.3dB/mm @ ± 1kG)

これらは、後年度に成果が現ってきたため、出版、公表は現在進行形のものが多い。そのため、被引用回数では評価が難しい。国際会議への招待をバロメータになると、SOA 集積 マッハツエンダー干渉計型全光論理ゲートに関し 1 件、DC/MMI BLD 型 全光フリップフロップに関し 2 件の招待講演(および講演依頼)が既にある。光アイソレータの成果は、2004 年 9 月に行われた IEEE 国際半導体レーザ会議(隔年)でポストデッドライン論文のトップに採択され、末松安晴国立情報学研究所長から賛辞を頂いた。その後、JJAP で最もインパクトのある成果を掲載する Express Letter セクションに採択され、11 月 12 日に出版されたところである。

一方、既発表論文の引用状況については、次のように分析される。まず、DFB レーザ関連の研究(主要英文論文[2][4])については、確立した分野で研究者の数も多く、その分被引用回数も

多くなる傾向がある(20件).しかし,デジタルフォトニクスのような本研究が先頭を切って開拓している分野では,研究人口の少なさ(場合によるとわれわれのみ)ゆえに,被引用回数は少なくなる傾向にある.それでも,全光フリップフロップの原型であるDFB SOA研究(主要英文論文[1][3])に関して7件の引用があり,デジタルフォトニクスの火付け役を果たすことができたものと考える. DC/MMI型全光フリップフロップ(主要英文論文[9][10])については,上記の通り2件の招待講演があるものの,成果自体が新しいこともあってジャーナルでの引用はまだない.全光論理ゲートの原型であるFP SOA/DFB導波路全光スイッチ(主要英文論文[5][6])については4件の引用に留まっているが,これらは論理ゲートとしては未成熟であることを反映しているものと思われる.論理ゲートとしてより優れるSOA集積マッハツェンダー干渉計型を今後多段に接続することで,光論理ゲートの真価が発揮されれば,研究人口も増えてくるであろう.AlN/GaN多重量子井戸におけるサブバンド間遷移の研究(主要英文論文[7][8])については,6件の引用があり,成果として比較的新しいものの認知度が上がってきてていると思われる.窒化物の研究者は大変多いが,窒化物をサブバンド間遷移に用いんとする難課題に取り組んでいる研究グループは世界にわずかしかない.今後,量子カスケードも含め窒化物サブバンド間遷移研究の人口が増加するに連れ,被引用回数も増えてくるものと考える.

### 3. 5 光物理と光システム（土屋グループ）

#### (1) 研究成果の内容

本チームにおける研究計画の中心的部分であるデジタルフォトニクスに係わるシステムと構成コンポーネントに対する先導的役割を分担するグループとして、次に記すようなデジタルフォトニクスの適用対象を守備範囲とする研究を実施した。即ち、将来のフォトニックネットワークに含まれ得るシステムやデバイスに注目し、これらの一部をその研究対象候補と位置付け、他グループで行なわれているデバイス試作研究や物性研究に対して、システム応用的見地から指針を与えることを目的とする研究である。

#### 1. 超短光パルスの発生と DWDM 通信への応用

光の極限性能のひとつである時間軸の高速性を追究する技術分野はフェムト秒フォトニクスあるいは超高速光エレクトロニクスと称される。これに関連し、世に先駆ける形で光パルス計測法、光パルス発生法、高感度光学的非線形デバイスの開発、などを実施したものである。平成 12 年度には、超短光パルス伝搬において発現する光ファイバ内非線形効果に対して高次分散効果が与える影響を詳細分析した。フェムト秒領域の光信号処理・光伝送技術に対して光ファイバ内非線形特性は様々な効果・影響を及ぼすが、光ファイバ内非線形性発現の必要条件は光波伝搬方向に沿った長い相互作用長である。そのために位相整合条件のマネジメントは重要な技術となる。特に、フェムト秒光パルスはその光スペクトル広がりが大きく、波長分散効果はより大きい。今回、サブ 100 フェムト秒光パルスのファイバ伝搬に着目し、光ファイバ内非線形効果の発現と高次分散効果が与える影響を数値シミュレーションにより明らかにした。特に、分散平坦化光ファイバに注目し、光パルス時間波形（パルス幅）およびスペクトル形状に留意しつつ、光パルス伝搬形態を詳細分析した。ここで対象とした分散平坦化光ファイバの特色は、有限値および有限帯域幅を有する異常分散領域が存在すること、三次分散値が零となる波長が存在すること、有限の四次分散を有すること、などである。これらの特色を丁寧に考慮し、モデル化と数値計算を進めたところ、パラメトリック効果を活用する光スペクトル生成法とフェムト秒赤外光パルス発生器としての利用法を提案することができた。

平成 13 年度はこの成果に引き続いて、パラメトリック効果の積極的応用法を検討した。その結果、分散平坦化光ファイバが有する四次分散がパラメトリック効果の帯域を延伸し得ることが判明した。これに対して光パルス伝搬実験を行い、サブ 100 フェムト秒光パルスに適用したところ、以下に記す大変に興味深い新たな知見を得た。（1）極めて短尺な（4 m 未満）光ファイバにおいて広帯域なスーパーコンティニューム光が発生し得ること（図 1）、（2）光ファイバ長の適切な調整により平坦度の極めて良いスペクトルとすることができる、（3）その結果として S バンドを包括する高品質スペクトルとすることができる。

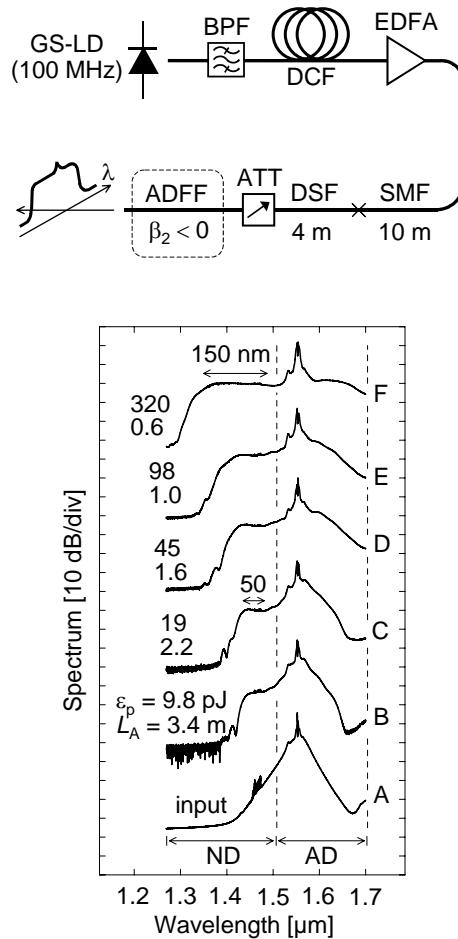


図1 広帯域スーパーコンティニューム光の発生

## 2. 顕微ラマン分光法による光通信用光素子および材料の解析

光ファイバ増幅器の発明・発達に呼応して光通信に関わる素子の入出力光パワーは上昇の一途を辿っている。これに対して、光パワー上昇がもたらす光電子デバイス(光ファイバ増幅器の励起レーザ、光スイッチ、光変調器、フォトダイオードなど)の信頼性劣化の原因解明とその対策が重要である。そのために、デバイス動作状態を正確にその場測定できる計測技術は極めて有効である。本研究では、顕微ラマン分光法に着目し、動作中デバイス入出力端面の詳細分析に適用する方法を開発した。信頼性向上のために有用と考えられる動作温度や組成変化に関する情報を動作中の素子に対してその場で得る手法を確立することが最終目標である。平成11年度構築の高感度顕微ラマン分光システムを利用し、光電子デバイス端面の材料分析、構造分析、動作分析について、それぞれに新手法を確立した。特に、微動ステージ導入により空間分解能1ミクロンを以って局所的温度や組成の二次元マッピングが可能となった。CD用・DVD用半導体レーザを対象としてその有効性確認と高精度化手法の開発を実施した。平成13年度からは、特に、ヘテロ界面を横断しつつ温度分布を求める手法に着目し、組成変動が温度データの誤差に与える影響を抑圧する方法を検討した。また、光るシリコン材料として注目を集めつつある鉄シリサイドに着目し、この光物性を顕微ラマン分光により調査する試みを開始した(7参照)。

### 3. モード同期半導体レーザの物理と応用

従来の光ファイバ通信技術では遠距離2点間のリンク構成が基本である。一方で、光技術をネットワーク技術に導入するフォトニックネットワーク技術への期待が高まっている。ここでは、機能光デバイスとして集積型モード同期半導体レーザに着目し、そのデジタルフォトニクスにおける新規利用法として光インバータの開発を実施した。電子回路インバータと遜色のないインバータ静特性(光入出力特性)を確認した(図2)。平成13年度には、これを受けて動特性測定を行い、ダイナミックなインバータ動作を確認した。しかしながら、モード分配雑音や動作周波数の点で課題が浮上し、改善手法を今後検討する必要がある。またこれに並行して、2モード出力を有する分布帰還型半導体レーザ(DFB-LD)を光インバータとする手法を検討し、高感度化に成功した。

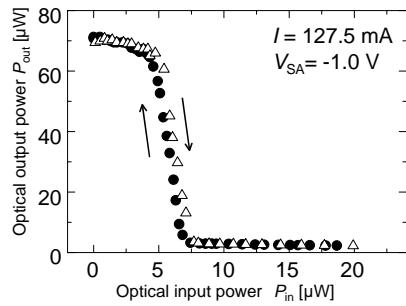


図2 全光インバータの入出力特性

### 4. 電気光学・磁気光学プローブを用いたマイクロ波・ミリ波回路計測技術

デジタルフォトニクスで対象とする動作周波数は、電気サンプリングスコープで計測可能な範囲を超えるので、電気光学あるいは磁気光学プローブによる計測が重要になる。ここでは、空間分解能に優れる磁気光学プローブの開発に成功した。これにより、高周波線路上のRF磁界分布を約10μmの空間分解能を以ってマッピングする手法が実現できる(図3)。この発展形として、逆問題解法導入による電流分布推定法も研究した。

また、磁気光学結晶の配置を工夫することによりプローブの周波数特性の改善を図る試みを行い、10GHzを超える帯域を有する磁気光学プローブの開発に成功した。

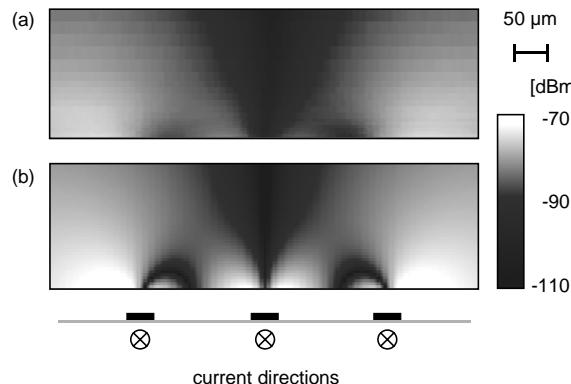


図3 磁気光学プローブによるRF磁界分布のマッピング

## 5. 光ファイバ内パラメトリック過程の解明と応用

デジタルフォトニクス研究の一環として、光ファイバ内のパラメトリック過程に着目し、その極限的性能を解明する研究を行なった。一般に、パラメトリック過程によって生ずる利得は波長変換や量子論的光信号処理を行なう際に活用されるもので、フォトニックネットワークの将来形を論ずる上で極めて重要な物理プロセスと位置付けることが可能である。しかしながら、従来、光ファイバパラメトリック利得は励起光の極近傍においてのみ発生するものと認識され、その狭帯域性が問題視されていた。

これに対して、当研究グループではロチェスター大学によって指摘されていた「分散平坦化光ファイバにおける異常分散特性とその四次分散によりもたらされる」広帯域パラメトリック利得に従来より注目していた。更には、プロジェクト開始直後の研究によりその効果を実証することに成功している。

平成 14 年度は、この超広帯域パラメトリック利得を利用する最初のデバイスとして、光パラメトリック発振器を構築し、その広帯域動作を実証した。より具体的には、半導体レーザパルスを EDFA 増幅した励起光を用い、10m 弱の分散平坦化光ファイバと光バンド透過フィルタおよび WDM カプラから成るリング共振器に対して光発振を駆動した。その結果、1400～1700nm という従来常識では考えられない超広帯域動作を実現することができ、本枠組みの有効性が検証された。この成果は、フォトニックネットワークにおけるノードを構成する際の光源技術に一石を投ずるものであり、パラメトリック信号処理全般に対する適用が期待される効果であるため、今後の展開が待たれるところである。

## 6. 光ファイバ無線技術に関する研究

フォトニックネットワークシステムの一画を占めると予想されるファイバ無線に関しても、研究を行なった。フォトニックネットワークの中で最も利用者に近い光ファイバを用いるファイバ無線技術では、最近、ディジタル光通信網に対しての融合や住み分けという考え方方がその重要度を増している。そのような中で、光ファイバ中光周波数資源の有効利用という観点と、光技術によりワイヤレス通信技術の革新を図るという考え方から、LiNbO<sub>3</sub>-集積マッハツエンダ干渉計(MZ)型光変調デバイスの新たな駆動方法を提案し、その原理を確認する実験研究を行なった。従来、MZ 型光変調器に対しては、受光後 RF 周波数が遙倍される DSB-SC 型変調方式と被変調光信号が光単側波帶構成となる OSSB 型変調方式が別個にあり、それらの融合は不可能とされていた。これに対して、当研究グループでは、LN-集積 MZ 型変調器の入力回路構成と光バイアスを調整することによって、上述の 2 機能（周波数 2 遥倍機能と光単側波帶信号発生機能）を同時に実現できることを見出し、これを実験的手法によって確認した。実際、これを 60GHz 帯光ミリ波信号発生に適用し、156Mb/s 2 チャネルの QPSK 信号を光変調器入力とし、受光後の復調により検出したところ、良好な I/Q ダイアグラムが描かれることを確認した。光ミリ波 QPSK 信号を周波数遙倍作用を介して発生させた前例はなく、初めての実証として論文発表した。この成果には最近の進展が著しい集積 MZ 型光変調器の新駆動方法として一角を占めるという位置付けが期待されるばかりか、光電波融合技術の最前線を形成するものとして今後の動向・展開が注目される。

## 7. シリコンフォトニクスへの展開

将来フォトニックネットワークでは、超大容量幹線系のネットワーク技術だけではなく、利用者に近いネットワークでの小型軽量ルーティング技術が重要になると予測される。しかしながら、現在、このような要求に堪えうる基盤技術は存在しない。ハイエンドを目指す技術は多々あるものの、コスト的潜在力を熟慮した上でのデバイス研究は不十分である。

このような場面では、従来技術の延長線にある技術だけではなく、全く新しい観点からの革新的技術に着目すべきであると我々は考えた。シリコンフォトニクスはこの要請に応え得る可能性を秘めるとと思われる。集積回路におけるシリコンの優れた特性は周知のところであるが、これがフォトニクス分野にも適用されれば性能とコストとの要求を両立できるフォトニクス技術が創成され得るであろう。

シリコンフォトニクスにおける重要課題のひとつは、光電子相互作用の拡充である。本質的に、シリコンは間接遷移型半導体であるため、フォトニクスデバイス素材としてこれを利用する際、種々の制約が生ずる。これに対しては、ポーラスシリコン、SiGe、Er 添加シリコンなど様々な試みが行われているが、我々は、現在、鉄シリサイド $\beta$ 相の光デバイス応用可能性に着目して研究を行っている。

鉄シリサイド $\beta$ 相は、実際、LEDに適用されるなど、有望な材料の代表格である。しかしながら、 $\beta$ 相鉄シリサイドを生成するためには数百度以上の高温プロセスが、しかも、長時間必要である。これは、光デバイスと他のデバイスとの集積させる技術において障害となり得る特性で、改善が強く望まれる。

これに対して、我々は、先行研究において $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>起因ラマン信号が377°C以下低温アニール処理した室温PLD(パルスレーザー法)試料に対して検出されることを発見している。ナノ寸法を含むドロップレットを注意深く分析したところ、 $\beta$ 相特有のラマンシフトが確認されたのである。

平成15年度は、これを更に進展させ、ドロップレットの結晶構造と生成過程とを解明するために、断面TEM観察を行った。その結果、ドロップレット内部に $\beta$ -FeSi結晶構造(格子イメージ)が散見された他、興味深い知見が得られた。

実験ではまず、Si(100)基板上に、FeSi合金(Fe:Si=1:2)ターゲットを用いて室温パルスレーザ堆積(PLD)した。更に窒素雰囲気中にて600°C、2時間のアニール処理を施した。アニール温度をやや高めに設定しているが、今後は低温アニール試料に分析を拡張させる予定である。当該試料上に存在するドロップレットの中で、 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>ラマン信号が強く現れたもの(直径2.5μm、高さ1μm)に注目し、まさにそのドロップレットに対して断面TEM観察を行った。

図4がその結果である。図中のTEM像には次の特徴が明示されている：(1)ドロップレット内部はほぼ均質の連続体、(2)ドメインと境界の存在が確認される、(3)基板との界面は平坦、(4)結晶形成を示す格子像がTEM像内に確認される、(5)当該回折像の解析では、 $\beta$ 相に近い格子乗数が算出された、(6)上記微細結晶の方針に着目したところ、シリコン基板とのエピタキシャル関係は認められない。

比較のためにアニールを施さないドロップレットに対して同様の観察を行ったところ、結晶構造は観測されなかった。また、 $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>起因ラマン信号も検出されなかった。これらの結果から、アニールされたドロップレットには確かに $\beta$ 相が形成されているものと結論することができる。

今回はアニール温度がやや高めの 600°Cを対象としたが、ラマン信号との対応から、400°C以下のアニールに対してもほぼ同様の内部構造が推察される。よって、低温 PLD 法が少なくとも低温  $\beta$  相形成のためには有効な手法である旨、導かれた。

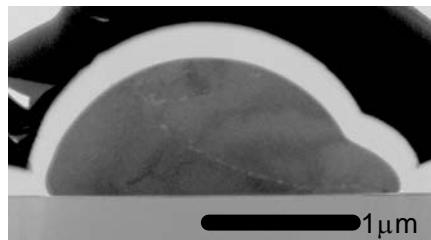


図4 PLD で堆積・形成したドロップレットの断面透過電子顕微鏡像

## (2) 得られた研究成果の評価及び今後期待される効果

光ファイバーを用いたソリトンパルス圧縮の研究（主要英文論文[5],[8],[10]）は、パルス幅の短さを競う分野の性質上、被引用回数が他のテーマより多くなっている。本プロジェクトの成果は、簡単な構成で 20 フェムト秒の光パルスの生成できることを示したことであって、波及効果が大きい。一方、ファイバー光非線型性を用いた光パラメトリック利得によるスーパーコンティニューム光の発生（主要論文[3]）は、成果の重要性に比較し引用数が少ない。これは、スーパーコンティニューム光の利用自体がまだこれからであること、成果の広報が十分でなかつたこと等が理由として考えられる。デジタルフォトニックデバイスとしての光インバータの研究（主要英文論文[9]）は、新規分野で研究人口が多くないため引用数は少ないが、これを引用した論文は米国の旧ベル研系の主要研究グループであり、今後研究テーマが普及するに連れ、引用回数も増えてくるものと思われる。

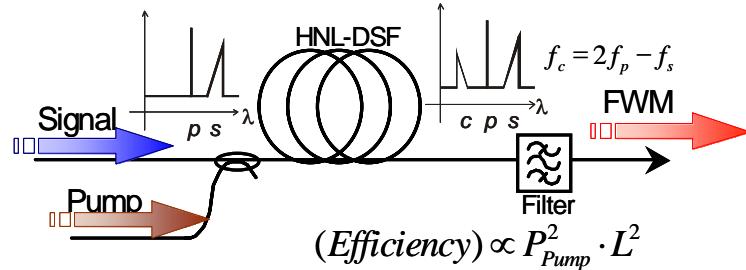
### 3. 6 光ファイバハイブリッドデジタル光デバイスとシステム応用(山下グループ)

#### (1) 研究成果の内容

##### 1. 高効率・広帯域光ファイバ波長変換器

光ファイバ中に高強度の光を入射すると、光強度に比例した屈折率変化が生ずる。これは3次非線形屈折率変化あるいはカ一効果とよばれ、紫外光誘起光屈折率変化とは異なり、トランジエントな屈折率変化である。石英系光ファイバではこの屈折率変化は小さいが、損失が小さいため相互作用長が長くとれ、全体としては大きな非線形性を持たせることができる。光ファイバのカ一効果の現象としては、自己位相変調、相互位相変調、4光波混合があり、それぞれ種々の光デバイスに利用されている。

本研究では、そのうちの4光波混合に注目した。4光波混合は波長変換や波形整形、あるいはそのパラメトリック增幅を利用した光增幅・レーザ、等に利用されてきている。特に最近では、非常に広帯域(>400nm)なパラメトリック光増幅器が実現できるようになってきており、次世代の光ファイバ増幅器として注目を集めている。4光波混合では、図3に示すように入射する信号光(波長 $\lambda_s$ )と、高強度の連続発振(CW)励起光(波長 $\lambda_p$ )を合波し、非線形光ファイバに入射することにより、波長 $2\lambda_p - \lambda_s$ への波長変換、または波長 $\lambda_s$ でのパラメトリック利得が得られる。その励起効率は、図1に示すように励起光強度の2乗に比例する。つまり、効率を改善するためには、励起光強度をできるだけ上げればよい。近年のエルビウム光ファイバ増幅器(EDFA)技術の進展にともない、1W(+30dBm)以上の高パワーのCW光を光ファイバに入力することは容易にできるようになっている。



$$E_{FWM} = k E_p^2 E_s \exp j[(2\omega_p - \omega_s)t + (2\phi_p - \phi_s)]$$

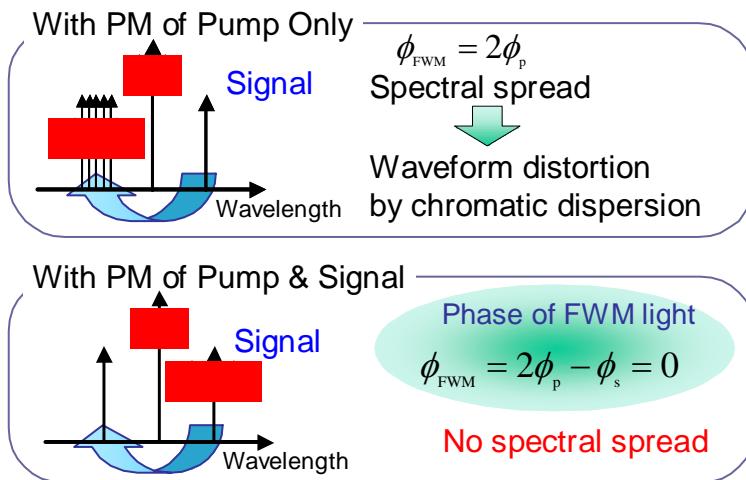


図1 同期位相変調によるスペクトル拡がりのない波長変換器

高強度の CW 励起光を光ファイバに入力する上で障害となるのは、光ファイバ中の別の非線形現象である誘導ブリュアン散乱(SBS)である。SBS は 10mW 程度で生じてしまう。SBS は、その利得帯域の狭さ(20~100MHz)から、あらかじめ励起光を変調することによりそのスペクトルを広げることで抑圧できる。これはスペクトル拡散法と呼ばれる技術であるが、これを利用して波長変換に用いる励起光のスペクトルを拡散させるだけでは、4 光波混合の性質上、図 1 に示すように得られる変換信号光のスペクトルは通常の場合より大きな広がりを持つてしまう。スペクトルの広がりは光ファイバの波長分散により波形歪みをもたらすため、この励起光スペクトル拡散技術は長距離光ファイバ伝送には用いることができないという問題があった。

我々はこの問題を解決するために、図 1 に示すように信号光にも励起光と同期した変調をかける同期位相変調法という新しい波長変換技術を発明した。この技術では、波長変換光の位相項が励起光・信号光の位相によって決定されることを利用し、励起光と同時に信号光にも変調によるスペクトル拡散法を適用し、更に 2 変調信号間を同期させることで、最終的に波長変換光の位相における時間変動項をキャンセルし、スペクトル広がりを抑圧することができる。

本技術に関しては、すでに実験で高効率な波長変換を実証している。さらに、この波長変換器を中間点スペクトル反転(MSSI)法による光ファイバ波長分散補償に用いた 10Gb/s、200km 単一モード光ファイバ(SMF)伝送システム実験を行い、従来方式に比べて変換効率が向上した分だけ雑音特性も向上することを示している。

また、これまでの構成では、信号光と励起光の両方に変調をかけるために 2 つの位相変調器が必要であったが、FBG を用いて 1 つの位相変調器を双方向で使う新しい構成を提案した。この構成は位相変調器を減らせるのみならず、位相変調の深さを 2 倍にできるという利点も持ち、更なる変換効率の向上が期待できる。実験により、励起光パワーを +23dBm まであげることができ、変換効率を 5.5dB まで上げることができた。また、これを MSSI 法による光ファイバの波長分散補償に用いたシステム実験を行い、10Gb/s で 200km 以上の SMF 伝送に成功した。

## 2. 超広帯域・高密度光ファイバグレーティング

WDM 光ファイバ通信システムのためのキー光デバイスのひとつとして光ファイバブラッジグレーティング(Fiber Bragg Grating: FBG)が挙げられる。Ge をドープした石英ガラス光ファイバのコアに紫外光を照射すると、紫外光誘起屈折率変化(Photosensitivity)によりその屈折率が変化し、照射を止めた後もパーマネントに持続する。光ファイバグレーティングは、光ファイバのコアに位相マスク等により紫外光の干渉縞を形成して周期的な屈折率変化を書き込んだもので、回折格子(グレーティング)として、波長選択デバイスとしての機能をもたせることができる。干渉縞の周期は約 500nm 程度である。グレーティングが光ファイバ中に非破壊的に直接形成できるため、低損失・小型・高信頼性・偏波無依存・伝送用光ファイバとの整合性、などの多くの利点をもっている。

光ファイバグレーティングのなかでも特に WDM 伝送に適しているのが、スーパーストラクチャ光ファイバグレーティング(Super Structure Fiber Bragg grating: SSFBG)と呼ばれるものである。これは、短いグレーティングを等間隔で離散的に作製することにより、くし(コム)形の反射フィルタを形成できるものである。しかしながら、この SSFBG を大容量化する高密度 WDM 光ネットワークに合わせて広帯域化・高密度化するためには、数十 cm 以上という非常に長い SSFBG 長が必要となる。このような長い SSFBG は安定性の面で問題があり、またグレ

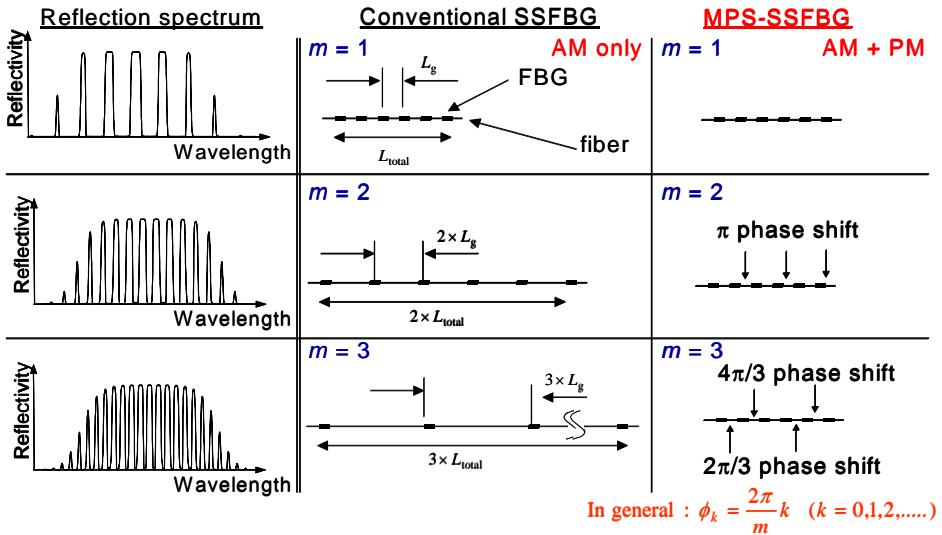


図2 従来のSSFBGと多点位相シフトSSFBG

一タイミングが書き込まれていない部分が多くなるため光ファイバ自体の利用効率も低く、さらに長い SSFBG の作製も位相マスクを用いる従来の方法では困難であった。これを解決するために、研究代表者らは、グレーティングが書き込まれていない部分に一様な紫外光を照射して多点位相シフト(Multiple phase shift, MPS)を与えることにより、数 cm の長さのままで SSFBG を高密度化する画期的な技術を開発した。

本研究での中核技術である多点位相シフト法を図2に示す。光ファイバグレーティング波形と反射スペクトラムとはほぼフーリエ変換の関係にあるため、SSFBG のくし形反射スペクトルの包絡線幅は離散的に作製されたグレーティング部分の長さに反比例し、チャネル間隔は作製したグレーティング間隔に反比例する(図2(a)(b))。より狭いチャネル間隔を得るためににはより大きな間隔でグレーティングを離散的に作製する必要がある。たとえば、SSFBG のチャネル間隔を1/2にしようすると、グレーティング間隔を2倍にする必要があり、全長も2倍にならなければならない。同様に、チャネル間隔を1/3にすると全長は3倍となってしまう。それに対して多点位相シフト法では、SSFBG の適切な場所に位相シフトを与えたもので、これは SSFBG の全長も維持したままチャネル間隔を高密度化できる画期的な方法である。 $m$ 倍に高密度化するために必要な  $k$  番目と  $k+1$  番目のグレーティング間の位相シフトの大きさは、 $\phi_k = 2\pi(k-1)/m$  で与えられる。2πでの位相の折り返しを考慮すれば、2倍に高密度化するための位相シフト量は  $\phi_k = 0, \pi, 0, \pi, 0, \tilde{\pi}$  であり、3倍に高密度化するための位相シフト量は  $\phi_k = 0, 2\pi/3, 4\pi/3, 0, 2\pi/3, 4\pi/3, 0, 2\pi/3, 4\pi/3, \dots$  である(図2(c))。

提案した MPS 法を実験により実証した。従来の SSFBG を作製後に、FBG 間に UV 光を照射することにより位相シフトを与え、2倍( $m=2$ )および3倍( $m=3$ )の高密度化に成功した。さらに、UV 光照射の代わりに熱光学効果を利用することにより可変にする研究を行った。直径 20mm のタングステン線を光ファイバの FBG 間に1回巻き、タングステン線に電流を流すことによりファイバに熱を与えた。電流を個々に制御することにより、同様に2倍( $m=2$ )および3倍( $m=3$ )の高密度化に成功した。

さらに、単純な SSFBG であるサンプルド光ファイバグレーティングだけではなく、アポダイスやチャープなど複雑な SSFBG にも多点位相シフト法が適用可能であることをシミュレーションおよび実験で実証した。

### 3. 全光型半導体再生中継器

将来の WDM 光ネットワークで重要な全光型信号処理デバイスとして、新しい全光型再生中継器を提案した。これは図 3 に示すように、半導体レーザの注入同期を利用して波形の整形を行うものである。半導体レーザの注入同期現象の閾値を適当に調節することにより、波形が劣化した強度変調光を波形が等化された周波数変調光に変換し、さらに狭帯域光フィルタにより波形が等化された強度変調光を得ることに成功した。理論的検討の結果、半導体 DFB レーザの緩和振動が動作速度を決定することがわかった。また、信号光に DC バイアスをかける、つまり変調指数を下げるこことにより、緩和振動がある程度回避できることを理論的および実験的に検証した。この方法により、1.8Gb/s のランダムパターン信号の波形整形に成功した。

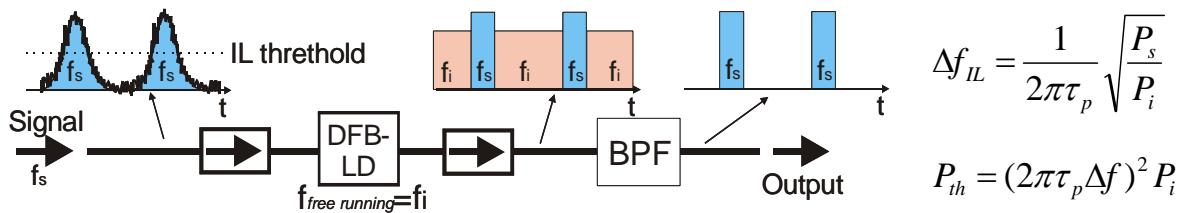


図 3 半導体レーザの注入同期による波形整形

この波形再生器の難点は、半導体 DFB レーザ周波数と信号光周波数が近い ( $\sim 10\text{GHz}$ ) ために、光フィルタリングが難しいことである。そこで、光フィルタリングが容易だと考えられるサイドモード注入同期法による波形再生器についても研究をおこなった。理論的検討の結果、サイドモード注入同期法のほうが緩和振動の抑圧がしやすいことが示された。実験により、2.5Gb/s のランダムパターン信号の波形整形に成功した。

さらに高速化を狙うために、2 サイドモード注入同期法を提案した。これは信号光とは別の CW プローブ光を半導体 DFB レーザのサイドモードに入れる方法で、理論的検討の結果、さらなる緩和振動の抑圧が期待されることがわかった。実験により、5Gb/s のランダムパターン信号の波形整形に成功した。さらに、半導体レーザをより安価な FP レーザに変更することにより、波長分散により波形が歪んだ SMF50km 伝送後の 10Gb/s 信号の波形整形に成功した。

### 4. 多波長光ファイバレーザ

WDM 光ファイバ通信技術の進展により、等間隔で多くの波長を出力できる多波長レーザ光源が望まれている。グループ長の山下は 1996 年に世界で初めて多波長光ファイバレーザを実現した。本研究では、波長間隔が可変な多波長 Er ドープ光ファイバレーザを世界で初めて実現した。

本研究テーマではまず、波長間隔が可変な多波長光ファイバレーザを提案し、実験を行った。偏波維持光ファイバ中のモード結合を利用し、これと偏光子を組み合わせて波長間隔可変フィルタを構成した。エルビウムドープ光ファイバを液体窒素で冷却する、あるいは音響光学変調器を用いた周波数シフトレーザ構成にすることで、多波長動作を実現した。偏波維持光ファイバ上の荷重印可位置に反比例して波長間隔が変化するであることが確かめられた。最大波長間隔が 2.5nm、最小波長間隔は 0.6nm であった。両構成において波長間隔可変な多波長光ファイバレーザが実現できた。

また、これまでには連続発振 (CW) の多波長光源しか実現されていなかったが、短パルス発生のためのモード同期技術と多波長技術とを組み合わせて、多波長モード同期光ファイバーレーザを実現した。構成は図4に示すような $\sigma$ 型のモード同期光ファイバーレーザである。 $\text{LiNbO}_3$ 強度変調器により 10GHz で能動的にモード同期をかけ、高調波モード同期条件を満たすよう (FSR~3.25MHz) ファイバストレッチャで共振器長を微調整した。ポンプ光として 980nm 帯と 1480nm 帯の 2 つの半導体レーザを用い、これらの励起光パワーは各 60mW に設定した。本研究では多波長フィルタとしてアレイ光導波路 (Arrayed Waveguide Grating: AWG) を用いた。この AWG は 100GHz (0.8nm) 間隔で 16 のチャネルを持ち、片端に高反射率 (90%) ミラーが着いている。AWG を用いることで ITU グリッドに一致した波長間隔で出力が得られる。偏波モード分散の影響を抑えるため、AWG 以外の共振器部分は全て偏波保持系で構成した。その結果、16 個のポート全てから繰り返し周波数 10GHz でのモード同期パルス発振が得られた。得られた AWG 出力スペクトルの半値全幅 (FWML) は 0.214 nm ( $\Delta f = 26.75 \text{ GHz}$ )、出力パルスの FWML はガウシアン型と仮定した場合  $\Delta t = 20.3 \text{ ps}$  であった。この結果、時間・周波数積は  $\Delta f \cdot \Delta t = 0.54$  とガウシアン型のトランスフォームリミット値 0.44 に近い値が得られた。さらに RF スペクトルを観測することで、スーパーモード雑音が 45dB 以上抑えられていることが確認できた。

これまでには多波長発振のためにエルビウムドープ光ファイバを液体窒素で冷却していたが、高非線形ファイバをレーザリング共振器内に挿入することにより、波長域 40nm にわたり 10GHz 間隔で 488 波長、100GHz 間隔で 51 波長を常温で多波長発振させることに成功した。また、利得が均一であるにもかかわらず常温で多波長発振が実現できているのは、高非線形ファイバ中で起こる四光波混合が原因であることを実験的・理論的に検証した。

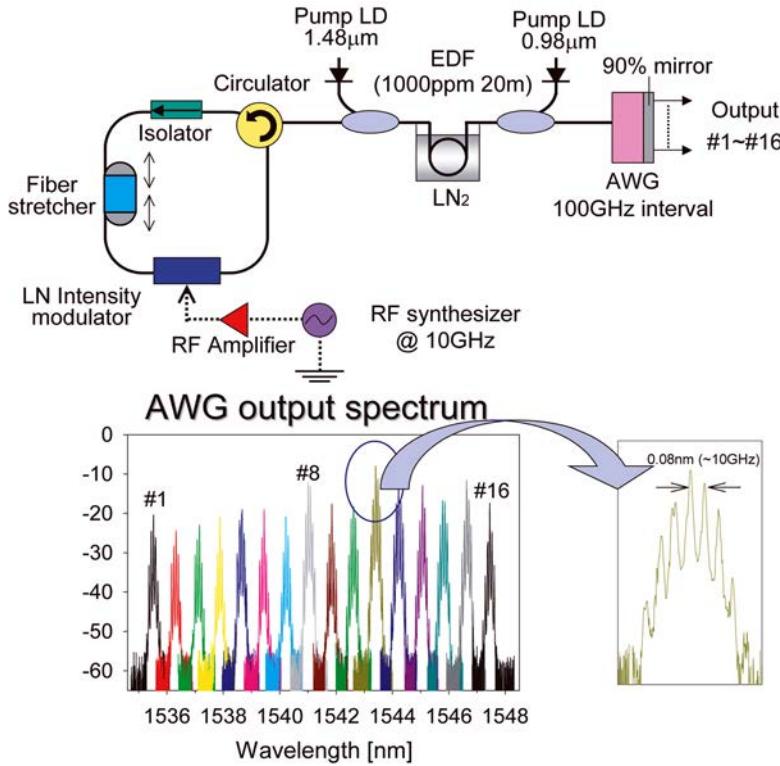


図4 多波長モード同期光ファイバーレーザ

## 5. カーボンナノチューブを用いたモード同期光ファイバレーザ

現在、フォトニックネットワークの実現に向け、さまざまな全光処理デバイスが研究されている。これらの全光処理デバイスには半導体型、ファイバ型の2種類があるが、それぞれに一長一短があり、実用的な全光処理デバイスは実現されていない。そこで、我々は光非線形素子として非常に注目を集めているカーボンナノチューブ(CNT)を用いたデバイスの研究を行っている。

CNTには多層のもの(MWNT)と単層のもの(SWNT)があり、光学的に特徴があるのはSWNTである。SWNTのうち、半導体型SWNTは半導体と同様のバンド構造をもち、バンドギャップエネルギーに相当するエネルギーをもつ光子を吸収する。バンドギャップエネルギーはSWNTの直径にはほぼ反比例する。半導体型SWNTではこのバンド間遷移が非常に高速(<1ps)であり、また動作波長はSWNTの直径の制御により可能であるため、光非線形デバイスとして有望である。まず考えられるのがバンド間での光子の共鳴吸収を利用した可飽和吸収体としての利用である。可飽和吸収体は雑音抑圧素子や受動モード同期素子への応用に重要である。我々は、SWNTを挿入した光ファイバレーザは、励起パワーが低いところでは受動モード同期により1.7psの短パルスを発生するが、励起パワーを上げていくと受動Qスイッチに入れ替わって数μsのパルスを発生することを報告している。

可飽和吸収素子に用いるSWNTは純度が重要である。上述の報告ではレーザアブレーション法で合成されたSWNTサンプルを高純度化し、溶液に溶かして石英基板上に吹き付けることにより薄膜化している。しかしながら、レーザアブレーション法は高温(>1,000°C)のプロセスで、収量が少なく、高純度化のための後処理プロセスが必要になる。大量合成法としては高圧の一酸化炭素から合成するHiPco法があるが、後処理プロセスが必要となるのは同じである。これに対し、最近、東京大学の丸山らは、世界で初めて高純度なSWNT薄膜を低温(<600°C)でアルコールCVDにより直接合成する技術を開発した。これは低温プロセスであるため、石英基板上ののみならず、光ファイバの端面に高純度SWNTを直接合成することも可能である。我々は、丸山らのグループと共同で、アルコールCVDにより高純度SWNTを石英基板上および光ファイバ端面に合成し、それを可飽和吸収素子として光ファイバレーザに挿入して受動モード同期による短パルス発生を報告した。光ファイバ端面に直接合成したSWNT薄膜のSEM写真を図5に示す。受動モード同期レーザからは0.9ps程度の短パルス発生が確認されている。

以上のように、CNTは短パルス光ファイバレーザ用の超高速受動モード同期素子として有用であることが示された。しかしながら、これまでの実験では、レーザ共振器長が数十メートル以上と長く、対応する繰り返し周波数は10MHz以下であり、通信用には使うことができなかった。通信用のパルス光源を実現するためには、共振器長を数センチメートル以下にする必要があり、高い利得をもつ希土類ドープ光ファイバと、小型で高速な可飽和吸収素子が必要である。我々は、可飽和吸収体としてCNTを用い、さらに利得が非常に高い光ファイバ(長さ2cm)と、高反射光ファイバミラーとの組み合わせにより、高繰り返し周波数(~5GHz)受動モード同期光ファイバレーザを実現した。図6に本研究の受動モード同期光ファイバレーザを示す。このレーザは光ファイバファブリペロー型レーザで、長さ2cmのEr:Yb光ファイバと、研磨した端面に高反射(HR, ~99.87%)ミラーを蒸着した2本の单一モード光ファイバ、およびEr:Yb光ファイバと左側のミラーの間に挟まれたCNT可飽和吸収素子からなる。このレーザから、繰り返し周波数が5.18GHzの安定なパルス列を生成することに成功した。自己相関波形測定の結果、

パルス幅は 0.68 psec であった。さらに、ジッタ測定を行い、100fs 以下の低ジッタ特性が得られていることが示された。最近ではさらに、共振器長を 1cm にまで短縮して 10GHz のパルス列発生にも成功している。

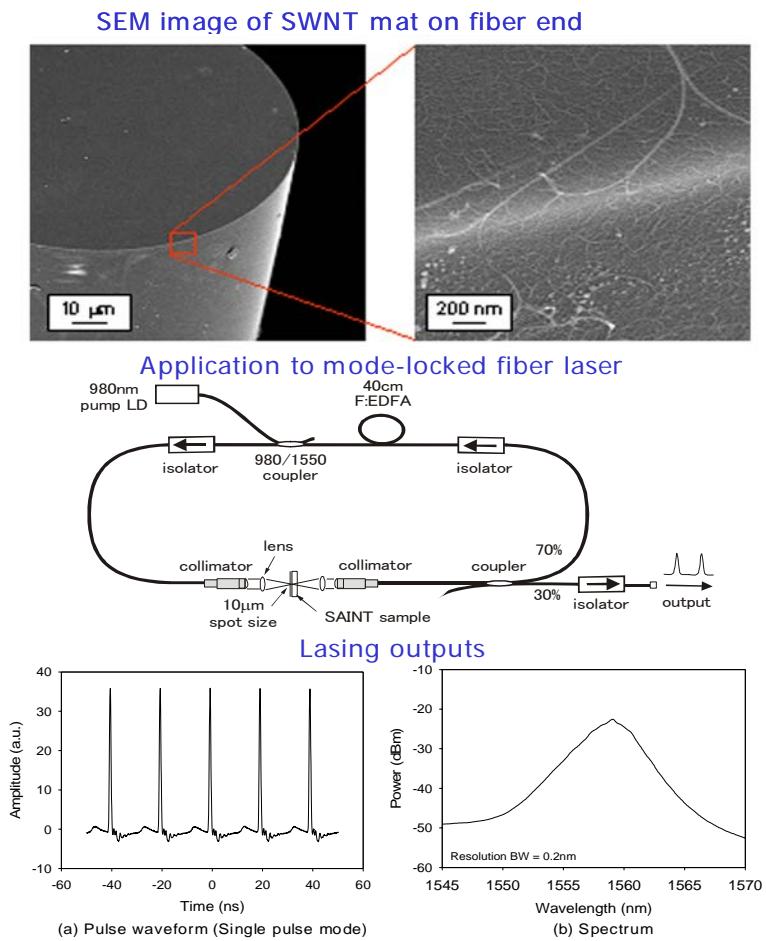


図 5 直接合成CNTを用いたモード同期光ファイバレーザ

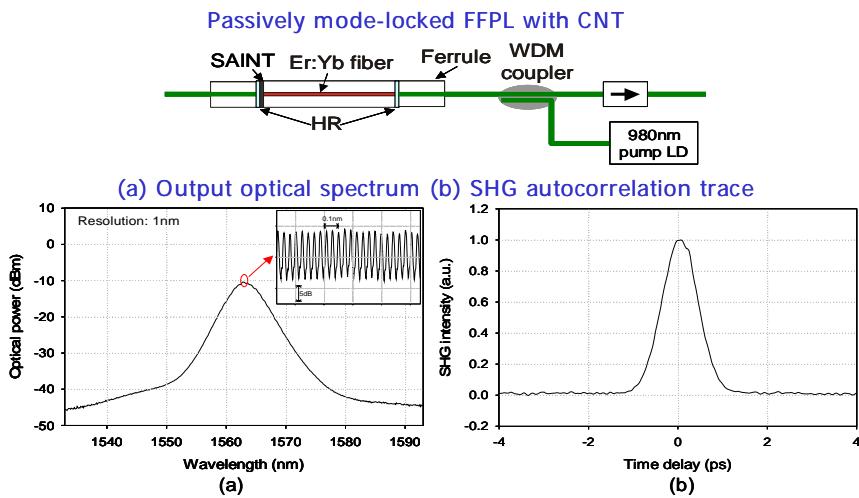


図 6 CNTを用いた高繰り返しモード同期光ファイバレーザ

## (2) 得られた研究成果の評価及び今後期待される効果

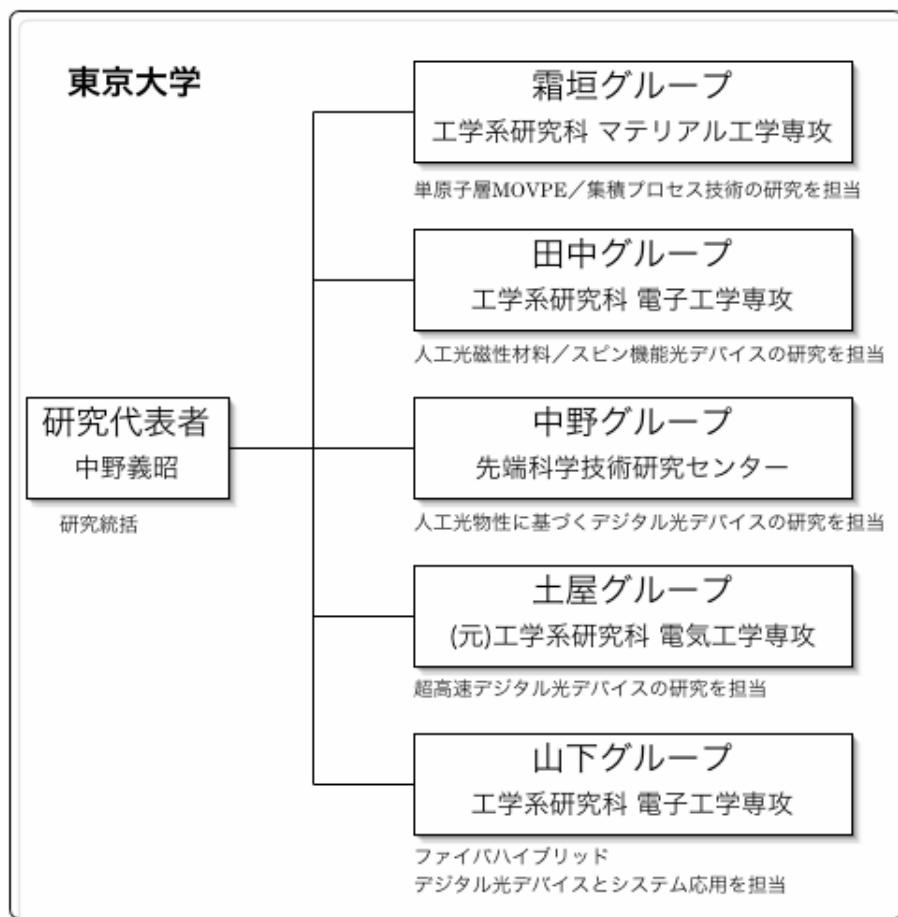
多波長光ファイバレーザの研究（主要英文論文[1]-[3],[7]）については、グループ長の山下が1996年に世界で初めて実現したものであり、また本プロジェクトの初期から論文を発表していたことから、比較的高い被引用数（それぞれ20,10,9）を得ており、世界的にも評価される研究成果を挙げたと考えている。今後はこれらの研究をさらに発展させて、光通信および計測用の製品レベルにまでもっていきたいと考えている。

高効率・広帯域光ファイバ波長変換器の研究（主要英文論文[4],[9],[10]）、超広帯域・高密度光ファイバグレーティングの研究（主要英文論文[5]）、全光型半導体再生中継器の研究（主要英文論文[6][8]）については、それぞれグループ長の山下のオリジナルなアイデアに基づく研究で、十分な研究成果を挙げているものと自負している。ところが被引用数はそれほど多くはない。これは、本プロジェクト開始時には想定していなかったテレコム景気の落ち込みが大きな要因を占めるものと考えている。しかしながら、最近のインターネット映像コンテンツの充実や国内外でのファイバ・トウ・ザ・ホーム(FTTH)の伸展から判断すると、早晚テレコムは回復しこれらの技術も評価されるものと考えている。さらに、これらの技術の非テレコム応用も検討していきたい。

カーボンナノチューブを用いたモード同期光ファイバレーザの研究は、昨年度（平成14年度）から開始した新しい研究テーマであり、まだ論文の形にはなっていない。しかしながら、本研究は光ファイバ通信関連の主要な国際会議で、招待講演を含め何度も研究発表を行っており、世界的にも注目されている独自のオリジナルな研究だと考えている。カーボンナノチューブは可飽和吸収特性のみならず、共鳴吸収の存在による光感受率の3次非線形性( $\chi_3$ )をもつことも知られている。これを利用すれば、従来は半導体や光ファイバによるしかなかった光スイッチや波長変換器などの将来の光ファイバネットワークに欠かせない全光処理デバイスが、低コストかつ短いデバイス長で実現でき、さらに集積化も可能となるかもしれない。さらに、動作波長はカーボンナノチューブの直径の制御により可能であるため、非テレコム応用にも適していると考えている。

## 4. 研究実施体制

### (1) 体制



(2) メンバー表

①中野グループ（人工光物性に基づくデジタル光デバイスの研究）

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
中野 義昭	東京大学 先端科学技術 研究センター	教授	研究統括	平成11年11月～ 平成16年10月
加藤 正樹	東京大学 工学系研究科	助手	人工光物性材料の 設計と結晶成長	平成11年11月～ 平成 14 年 3 月
二口 尚樹	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	能動/受動素子 モノシリック集積技術	平成11年11月～ 平成 13 年 3 月
井上 大介	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	温度依存性低減	平成11年11月～ 平成 14 年 3 月
Asawamethapant Weerachai	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	波長トリミング	平成11年11月～ 平成 15 年 3 月
Sroymadee, Nutchai	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	光波長変換デバイス	平成11年11月～ 平成 15 年 3 月
竹中 充	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	全光フリップフロップ	平成11年11月～ 平成 15 年 3 月
宮川 宏枝	東京大学 先端科学技術 研究センター	研究 補助員	事務補助	平成11年11月～ 平成16年10月
宋 学良	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	全光スイッチ回路	平成12年4月～ 平成 16 年 3 月
Al Amin, Abdullah	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	半導体 AWG 光回路	平成12年4月～ 平成 16 年 10 月
大塚 節文	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	量子細線レーザ	平成12年4月～ 平成 16 年 10 月
並木 亮介	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	InP, GaN の ECR エッチング	平成12年4月～ 平成 13 年 3 月
脇 一太郎	東京大学 工学系研究科	CREST 研究員	窒化物系 MOVPE と ISBT 光 デバイス応用	平成13年10月～ 平成 16 年 10 月
任田 玲子	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	EA 光波長変換デバイス	平成13年4月～ 平成14年3月 平成16年4月～ 平成 16 年 10 月

Kumtornkittikul Chaiyasit	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	N 系 ISBT 光スイッチ	平成13年4月～ 平成 16 年 10 月
Yit, Foo Cheong	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	全光論理デバイス	平成13年4月～ 平成 16 年 10 月
宮下 大輔	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	全光スイッチ回路	平成13年4月～ 平成 15 年 3 月
荒井 美樹	東京大学 工学系研究科	研究 補助員	事務補助	平成14年1月～ 平成15年3月
杉山 正和	東京大学 工学系研究科	講師	単原子層 MOVPE／集積プロセス技術	平成14年4月～ 平成年 10 月
清水 大雅	東京大学 先端科学技術研究センター	助手	人工光物性材料の 設計と結晶成長	平成14年4月～ 平成 16 年 10 月
金子 慎	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	EA 光波長変換デバイス	平成14年4月～ 平成 16 年 3 月
大谷 洋	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	N 系 ISBT 光スイッチ	平成14年4月～ 平成 16 年 10 月
Darja, Jesse	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	量子細線レーザ	平成15年4月～ 平成 16 年 10 月
櫻井 謙司	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	半導体 AWG 光回路	平成15年4月～ 平成 16 年 10 月
張 璞瑞	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	全光スイッチ回路	平成15年4月～ 平成 16 年 10 月
堀口 勝正	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	極微金属光配線	平成15年4月～ 平成 16 年 10 月
Zhao, Xiaoping	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	EA 光波長変換デバイス	平成15年10月～ 平成 16 年 10 月
宋 学良	東京大学 先端科学技術研究センター	CREST 研究員	全光スイッチ回路	平成16年4月～ 平成 16 年 10 月
塩田 優也	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	MOVPE シミュレーション	平成16年4月～ 平成 16 年 10 月
雨宮 智宏	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	半導体光アイソレータ	平成16年4月～ 平成 16 年 10 月

②霜垣グループ（单原子層MOVPE／集積プロセス技術の研究）

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
霜垣 幸浩	東京大学 工学系研究科	助教授	单原子層MOVPE／集積 プロセス技術	平成11年11月～ 平成16年10月
杉山 正和	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	InP/GaNno反応性イオン ビームエッチング	平成11年11月～ 平成12年3月
Feron, Olivier	東京大学 工学系研究科	外国人特別 研究員	MOVPEの反応機構解析 とシミュレーション	平成11年11月～ 平成12年7月
中野 貴之	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	MOVPEへテロ界面制御	平成11年11月～ 平成13年3月 平成15年4月～ 平成16年10月
Oh, Ho-Jin (吳 豪振)	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	化合物半導体MOVPE プロセスの反応機構解析 とシミュレーション	平成12年10月～ 平成15年9月
福島 康之	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	界面構造制御	平成13年4月～ 平成15年3月
仙田 尚美	東京大学 工学系研究科	研究 補助員	実験データ収集、 実験装置・薬品管理	平成14年4月～ 平成16年10月
Im, Ik-Tae (林 益台)	東京大学 工学系研究科	客員 研究員	MOVPEプロセス シミュレーション	平成14年7月～ 平成15年7月
和氣 範明	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	化合物半導体選択MOVPE プロセスの解析と シミュレーション	平成15年4月～ 平成16年10月
Song, Haizhen (宋 海政)	東京大学 工学系研究科	外国人特別 研究員	化合物半導体選択MOVPE プロセスを用いた 光集積回路の作製	平成16年4月～ 平成16年10月

③田中グループ（人工光磁性材料／スピニ機能光デバイスの研究）

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
田中 雅明	東京大学 工学系研究科	助教授	スピニ機能材料・ 光デバイス	平成11年11月～ 平成16年10月
清水 大雅	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	半導体ベース磁気光学結 晶と磁気光学 デバイス	平成11年11月～ 平成14年3月

Ahsan, M. Nazmul	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	磁性イオンの超ドーピングによる新物質創製	平成11年11月～ 平成14年3月
Sun, Jiaming (孫 甲明)	東京大学 工学系研究科	CREST 研究員	化合物磁性半導体の成長、光物性、磁気光学効果の研究	平成12年9月～ 平成13年8月
上田 和彦	東京大学 工学系研究科	大学院修士課程学生	長波長用化合物磁性半導体の成長、物性、デバイス応用	平成13年11月～ 平成15年3月
大下 淳一	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	長波長用化合物磁性半導体の成長、物性、デバイス応用	平成13年11月～ 平成16年3月
山口 浩之	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	長波長用化合物磁性半導体の成長、物性、デバイス応用	平成14年4月～ 平成16年3月
松野 知紘	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	極小磁性体・半導体融合構造の物性、デバイス応用	平成14年4月～ 平成16年3月
大矢 忍	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	長波長用化合物磁性半導体の成長、物性、デバイス応用	平成14年4月～ 平成16年10月
中根 了昌	東京大学 工学系研究科	大学院博士課程学生	磁性体/半導体ハイブリッド構造の成長、物性、デバイス応用	平成15年4月～ 平成16年10月
周藤 悠介	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	磁性体/半導体ハイブリッド構造の成長、物性、デバイス応用	平成15年4月～ 平成16年10月
リーコック リヨン	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	磁性体/半導体ハイブリッド構造の成長、物性、デバイス応用	平成15年4月～ 平成16年10月
杉浦 邦晃	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	磁性体/半導体ハイブリッド構造の成長、物性、デバイス応用	平成16年4月～ 平成16年10月
横山 正史	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	半導体ベース磁気光学結晶と磁気光学デバイス	平成16年4月～ 平成16年10月
ファム ナム ハイ	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	長波長用化合物磁性半導体の成長、物性、デバイス応用	平成16年4月～ 平成16年10月
近藤 潤	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	磁性体/半導体ハイブリッド構造の成長、物性、デバイス応用	平成16年4月～ 平成16年10月

④土屋グループ（光物理と光システム）

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
土屋 昌弘	東京大学 工学系研究科	助教授	光物理と光システム	平成11年11月～ 平成15年8月
岸 真人	東京大学 工学系研究科	助手	顕微ラマン分光実験	平成11年11月～ 平成15年8月
五十嵐 浩司	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	光ファイバソリトン の研究	平成11年11月～ 平成14年3月
小関 泰之	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	機能性光回路の研究	平成11年11月～ 平成13年7月
若菜 伸一	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	高速光デバイスの 動作計測	平成12年4月～ 平成13年9月
瀧田 裕	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	機能性光非線形 デバイスの研究	平成12年4月～ 平成14年3月
山崎 悅史	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	磁気光学効果の研究	平成12年4月～ 平成14年3月
Peter Petrovi ch Vasil'ev	東京大学 工学系研究科	客員 研究員	フェムト秒半導体 レーザの研究	平成12年6月～ 平成12年8月
齊藤 聰	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	光ファイバ非線形	平成13年4月～ 平成15年3月
中台 慎二	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	光通信システム	平成13年4月～ 平成15年3月
河崎 晋也	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	機能性光非線形 デバイスの研究	平成14年4月～ 平成16年3月
三谷 俊輔	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	磁気光学効果の研究	平成14年4月～ 平成16年3月

⑤山下グループ（ファイバ ハイブリッド デジタル光デバイスとシステム応用）

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
山下 真司	東京大学 工学系研究科	助教授	ファイバハイブリッド デジタル光デバイス	平成11年11月～ 平成16年10月
何 祖源	東京大学 新領域創成 科学研究科	助手	光ファイバー グレーティングの作成	平成11年11月～ 平成13年3月
松本 大輔	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	波形整形光デバイス	平成11年11月～ 平成12年3月
西原 真人	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	ハイブリッド 光ファイバデバイス	平成11年11月～ 平成12年3月
鳥居 健一	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	高効率光ファイバ 波長変換	平成12年4月～ 平成13年3月
馬場 輝幸	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	デジタル光ファイバ フィルタとレーザ応用	平成12年4月～ 平成13年3月
倉本 敦史	東京大学 新領域創成 科学研究科	大学院 修士課程	注入同期半導体レーザ による全光波形整形	平成12年4月～ 平成14年3月
那須 悠介	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	光ファイバー グレーティングの作成	平成12年4月～ 平成14年3月
谷 理範	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	高効率光ファイバ 波長変換	平成13年4月～ 平成15年3月
西島 潤	東京大学 新領域創成 科学研究科	大学院 修士課程	広帯域光ファイバ 増幅器	平成13年4月～ 平成15年3月
林 理恵	東京大学 新領域創成 科学研究科	大学院 修士課程	多波長モード同期光 ファイバレーザ	平成13年4月～ 平成15年3月
柏木 謙	東京大学 工学系研究科	大学院 博士課程	UV光による光導波路 作製	平成14年4月～ 平成16年10月
ディン チュン キエン	東京大学 新領域創成 科学研究科	大学院 博士課程	光ファイバ グレーティング	平成14年4月～ 平成16年10月
井上 晋宏	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	非線形光ファイバ 増幅器	平成14年4月～ 平成16年3月
稻葉 淳	東京大学 新領域創成 科学研究科	大学院 修士課程	能動モード同期光ファイ バレーザの安定化	平成15年4月～ 平成16年10月

井上 悠介	東京大学 新領域創成 科学研究科	大学院 修士課程	カーボンナノチューブを 用いたモード同期光ファ イバレーザ	平成15年4月～ 平成16年10月
マズムダル シャヘド	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	光ファイバ波形再生器	平成15年4月～ 平成16年10月
横大路 宗生	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	可変光ファイバグレーテ ィング	平成15年4月～ 平成16年10月
岸 真人	東京大学 工学系研究科	助手	顕微ラマン分光実験	平成15年9月～ 平成16年10月
浅野 将弘	東京大学 工学系研究科	大学院 修士課程	高速・広帯域波長可変レ ーザ光源	平成16年4月～ 平成16年10月
グエン ホア ン マン	東京大学 新領域創成 科学研究科	大学院 修士課程	注入同期半導体レーザ による全光波形整形	平成16年4月～ 平成16年10月
安岡 充昭	東京大学 新領域創成 科学研究科	大学院 修士課程	カーボンナノチューブを 用いた光機能デバイス	平成16年4月～ 平成16年10月

## 5. 研究期間中の主な活動

### (1) ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
平成11年 12/13	チーム内研究打ち合 わせ	東大工学部 10号館 400号室	7名	入札準備状況報告・討論
平成12年 1/24, 2/25, 4/3, 4/26	チーム内研究打ち合 わせ	東大工学部 3号館/4号館/ 10号館会議室	8名～ 10名	各グループ研究進捗状況 報告
平成12年 5/1	チーム内研究打ち合 わせ	東大工学部 10号館 400号室	11名	アドバイザーとの現地討 論会、研究概要紹介・討 論・研究室視察
平成12年 5/25, 6/22, 7/26, 8/24, 1 0/19, 11/20, 12/26	チーム内研究打ち合 わせ	東大工学部 3号館/4号館/ 10号館会議室	7名～ 12名	各グループ研究進捗状況 報告
平成13年 1/22	電気電子情報学術振 興財団ワークショップ「発展する電子・光 子機能制御研究」	学士会館 分館	67名	各グループ研究成果発表
平成13年 2/27, 4/11, 6/6, 7/19, 9/ 17, 10/18, 12/10	チーム内研究打ち合 わせ	東大工学部 3号館/4号館/ 10号館会議室	11名	各グループ研究進捗状況 報告
平成13年 12/7～8	科学技術振興事業団 戦略的基礎研究推進 事業「電子・光子等の 機能制御」研究領域関 連プロジェクト合同 シンポジウム「光子機 能制御研究のフロン ティア」	名古屋大学ベ ンチャービジ ネスラボラト リー	81名	各グループ研究成果発表
平成14年 1/21, 3/7, 4/24, 7/30, 10/7, 11/18	チーム内研究打ち合 わせ	東大工学部 3号館/4号館/ 10号館会議室	10名～ 20名	各グループ研究進捗状況 報告
平成15年 1/9, 3/11, 5/6, 7/28, 9/11, 10/9, 11/28	チーム内研究打ち合 わせ	東大工学部 3号館/4号館/ 10号館会議室 会議室	14名～ 20名	各グループ研究進捗状況 報告
平成16年 1/19, 3/15, 5/10, 6/14, 7 /28, 9/13	チーム内研究打ち合 わせ	東大工学部 3号館/4号館/ 10号館会議室	16名～ 20名	各グループ研究進捗状況 報告

(2) 招聘した研究者等

氏名(所属、役職)	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Peter Petrovich Vasil'ev レベデフ物理学研究所 主任研究員	共同研究	東京大学 工学系研究科 土屋研究室	平成12年6月～平 成12年8月
Sun, Jiaming (孫 甲明) 中国科学院物理研究所 博士研究員	共同研究	東京大学 工学系研究科 田中研究室	平成12年9月～平 成13年8月
Im, Ik-Tae(林 益台) 国立益山大学 助教授	共同研究	東京大学 工学系研究科 霜垣研究室	平成14年7月～平 成15年7月

## 6. 主な研究成果物、発表等

### (1) 論文発表 (和文 11件、英文 103件)

1. Drew N. Maywar, Govind P. Agrawal, and Yoshiaki Nakano, "Robust optical control of an optical-amplifier-based flip-flop", OSA Optics Express, vol. 6, no. 3, pp. 75-80, January 31, 2000.
2. Byongjin Ma, Masumi Saitoh, and Yoshiaki Nakano, "Analysis and fabrication of an all-optical wavelength converter based on directionally-coupled semiconductor optical amplifiers", IEICE Transactions on Electronics, vol. E83-C, no. 2, pp. 248-254, February 2000.
3. Masakazu Sugiyama, Olivier Feron, Shinya Sudo, Yoshiaki Nakano, Kunio Tada, Hiroshi Komiya, and Yukihiko Shimogaki, "Kinetics of GaAs metalorganic chemical vapor deposition studied by numerical analysis based on experimental reaction data", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 39, part 1, no. 4A, pp. 1642-1649, April 2000
4. Ahsan M. Nazmul, Hiromasa Shimizu and Masaaki Tanaka, "Magneto-optical spectra of epitaxial ferromagnetic MnAs films grown on Si and GaAs substrates", to be published in Journal of Applied Physics, April 2000.
5. Olivier Feron, Masakazu Sugiyama, Weerachai Asawamethapant, Naoki Futakuchi, Y. Feuprier, Yoshiaki Nakano, and Yukihiko Shimogaki, "MOCVD of InGaAsP, InGaAs and InGaP over InP and GaAs substrates: distribution of composition and growth rate in a horizontal reactor", Applied Surface Science, vol. 159-160, Issue 1-4, pp. 318-327, June 2000.
6. Masaki Kato, Yoshiaki Nakano, "60 nm Wavelength Range Polarization-Insensitive 1.55  $\mu$ m Electroabsorption Modulator Using Tensile-Strained Pre-Biased Multiple Quantum Well", IEICE Transactions on Electronics, Vol. E83-C, No. 6, pp. 928-pp. 935, June 2000.
7. Masao Tabuchi, Ryuzo Takahashi, Munetaka Araki, Keisuke Hirayama, Naoki Futakuchi, Yukihiko Shimogaki, Yoshiaki Nakano, and Yoshikazu Takeda, "X-ray CTR scattering measurement of InP/InGaAs/InP interface structures fabricated by different growth processes", Applied Surface Science, vol. 159-160, Issue 1-4, pp. 250-255, June 2000.
8. Drew N. Maywar, Yoshiaki Nakano, and Govind P. Agrawal, "1.31-to-1.55  $\mu$ m wavelength conversion by optically pumping a distributed feedback amplifier", IEEE Photonics Technology Letters, vol. 12, no. 7, pp. 858-860, July 2000.
9. Masumi Saitoh, Byongjin Ma, and Yoshiaki Nakano, "Static and Dynamic Characteristics Analysis of All-Optical Wavelength Conversion Using Directionally Coupled Semiconductor Optical Amplifiers", IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 36, No. 8, pp. 984-990 August 2000.
10. Masaaki Tanaka, "Ferromagnetic semiconductor heterostructures based on (GaMn)As", to be published in Journal of Vacuum Science and Technology, July/August 2000.
11. 土屋昌弘, 小関泰之, "光マイクロ波融合デバイス(光電子デバイスからのアプローチ), Optical microwave device from optical view", エレクトロニクス, Vol. 45, No. 9, pp. 52-56, 2000年9月.
12. Byongjin Ma, Masumi Saitoh, and Yoshiaki Nakano, "Photon-induced waveguides for all-optical switching and wavelength conversion", IEICE Transactions on Electronics, vol. E83-C, no. 10, pp. 1683-1686, October 2000.
13. S. Yamashita and D. Matsumoto, "Waveform reshaping based on injection locking of a distributed-feedback semiconductor laser," IEEE Photonics Technology Letters, vol.12, no.10, pp.1388-1390, Oct. 2000.
14. S. Yamashita and K. Torii, "Cancellation of spectral spread in highly efficient optical fiber wavelength converters," IEE Electronics Letters, vol.36, no.24, pp.1997-1998, Nov. 2000.
15. S. Wakana, T. Ohara, M. Abe, E. Yamazaki, M. Kishi and M. Tsuchiya "Fiber edge electro/magneto-optic probe for spectral domain analysis of electromagnetic field", IEEE Transaction of MTT, Vol. 48, No. 12, pp. 2611-2616, December 2000.
16. Olivier Feron, Yoshiaki Nakano, and Yukihiko Shimogaki, "Kinetic study of P and As desorption from binary and ternary III/V semiconductor surface by in-situ ellipsometry", Journal of Crystal Growth, 221(2000), pp. 129-135, December 2000.
17. Takayuki Nakano, Yoshiaki Nakano, and Yukihiko Shimogaki, "Kinetic ellipsometry measurement of InGaP/GaAs hetero-interface formation in MOVPE", Journal of Crystal Growth, 221(2000), pp. 136-141, December 2000.
18. A. M. Nazmul, H. Shimizum and M. Tanaka, "Magneto-optical Spectra of Epitaxial Ferromagnetic MnAs films Grown on Si and GaAs Substrates", J. Appl. Phys. 87, pp.6791-6793 (2000).

19. M. Tanaka (invited paper), "Ferromagnetic Semiconductor Heterostructures Based on (GaMn)As", J. Vac. Sci. & Technol. A18, pp.1247-1253 (2000).
20. H. Shimizu, M. Miyamura, and M. Tanaka, "Enhanced Magneto-Optical Effect in a GaAs:MnAs Nanoscale Hybrid Structure Combined with GaAs/AlAs Distributed Bragg Reflectors", J. Vac. Sci. & Technol. B18, pp.2063-2065 (2000).
21. 田中雅明, "半導体スピニ機能素子技術の現状と展望(invited paper)", FEDジャーナル Vol.11, No.3, pp.67-75 (2000).
22. M. Tanaka, "Semiconductor Spintronic Materials and Devices: Current Status and Future Prospects" (Japanese), Future Electron Device Journal, Vol.11, No.3, pp.67-75 (2000).
23. B. Grandidier, J.P. Nys, C. Delerue, D. Stievenard, Y. Higo, and M. Tanaka, "Atomic-Scale Study of GaMnAs/GaAs Layers", Appl. Phys. Lett. 77, pp.4001-4003 (2000).
24. T. Kamiya, M. Tsuchiya, M. Miyamoto, J. Lee, T. Tanaka, and S. Sasaki "New approach of semiconductor laser related technologies for ultrafast photonics", Optical and Quantum Electronics, Vol. 32, pp. 443-435 (2000).
25. H. Shimizu, M. Miyamura, and M. Tanaka, "Magneto-optical Properties of a GaAs:MnAs Hybrid Structure Sandwiched by GaAs/AlAs Distributed Bragg Reflectors: Enhanced Magneto-optical Effect and Theoretical Analysis", Appl. Phys. Lett. 78, pp.1523-1525 (2001).
26. S. Yamashita and M. Nishihara, "Widely tunable erbium-doped fiber ring laser covering both C-band and L-band," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Special Issue on Fiber Amplifiers and Lasers, Feb. 2001.
27. S. Yamashita and M. Nishihara, "L-band erbium-doped fiber amplifier incorporating an inline fiber grating laser," IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Special Issue on Fiber Amplifiers and Lasers, Feb. 2001.
28. R. Hainberger, Y. Komai, Y. Ozeki, M. Tsuchiya, K. Kodate, and T. Kamiya "Experimental Studies of Switching Characteristics for All-optical Demultiplexer Module", IEICE Transaztions on Electronics, Vol. E84-C, No.3, pp. 358-363, March 2001.
29. K. Hsu and S. Yamashita, "Single-polarization generation in fiber Fabry-Perot laser by self-injection locking in short feedback cavity," IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, vol.19, no.4, pp.520-526, Apr. 2001.
30. S. Yamashita and T. Baba, "Spacing-tunable multiwavelength fiber laser," IEE Electronics Letters, vol.37, no.16, pp.1015-1017, Aug. 2001.
31. S. Yamashita and K. Hsu, "Active mode-locking of miniature fiber Fabry-Perot laser (FFPL) in a ring cavity," IEE Electronics Letters, vol.37, no.18, pp.1115-1116, Aug. 2001.
32. 清水大雅、宮村信、田中雅明, "MnAsナノクラスターとGaAs/AlAs半導体DBRからなる多層膜における磁気光学効果の増大", 日本応用磁気学会誌 Vol.25 No.4-2, pp.655-658 (2001).
33. H. Shimizu and M. Tanaka, "Magneto-Optical Properties of Semiconductor-Based Superlattices having GaAs with MnAs Nanoclusters", J. Appl. Phys. 89, pp. 7281-7283 (2001).
34. S. Sugahara and M. Tanaka, "Atomic-Scale Surface Morphology of Epitaxial Ferromagnetic MnAs Thin Films on Vicinal GaAs(111)B Substrates", J. Appl. Phys. 89, pp. 6677-6679 (2001).
35. H. Saito, W. Zaets, Y. Mishima, M. Tanaka, R. Akimoto and K. Ando, "Magnetic and transport properties of a new III-V diluted magnetic semiconductor Ga<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>As", J. Appl. Phys. 89, pp.7392-7394 (2001).
36. J. Okabayashi, A. Kimura, O. Rader, T. Mizokawa, A. Fujimori, T. Hayashi, and M. Tanaka, "Electronic Structure of GaMnAs Studied by Angle-resolved Photoemision Spectroscopy", Physica E10, pp.192-195 (2001).
37. H. Shimizu, M. Miyamura, and M. Tanaka, "Magneto-optical effect in a Semiconductor-based Magnetic Microcavity", Proc. of the 25th International Conference on the Physics of Semiconductors, Osaka 2000 (Eds. N. Miura and T. Ando, Springer), pp.1711-1712 (2001).
38. J. Okabayashi, A. Kimura, O. Rader, T. Mizokawa, A. Fujimori, T. Hayashi, and M. Tanaka, "Electronic structure of Ga<sub>1-x</sub>M<sub>x</sub>As studied by photoemission spectroscopy", Proc. of the 25th International Conference on the Physics of Semiconductors, Osaka 2000 (Eds. N. Miura and T. Ando, Springer), pp.262-263 (2001).
39. M. Tanaka, H. Shimizu, and M. Miyamura (Invited paper), "Enhancement of Magneto-optical Effect in a GaAs:MnAs Hybrid Structure Sandwiched by GaAs/AlAs Distributed Bragg Reflectors: Epitaxial Semiconductor-based Magneto-photonics Crystal", J. Cryst. Growth, 227/228, pp.839-846 (2001).
40. M. Tanaka and K. Takahashi, "Ferromagnet (MnAs)/semiconductor (GaAs, AlAs, InAs)/ferromagnet (MnAs) trilayer heterostructures: Epitaxial growth and magnetotransport properties", J. Cryst. Growth,

- 227/228, pp.847-851 (2001).
41. M. Tanaka and Y. Mishima, "Low Temperature Molecular Beam Epitaxy Growth and Properties of (Ga,Er)As", J. Cryst. Growth, 227/228, pp.857-861 (2001).
  42. Ahsan M. Nazmul, A. G. Banshchikov, H. Shimizu, and M. Tanaka, "MBE growth process of ferromagnetic MnAs on Si(111) substrates", J. Cryst. Growth, 227/228, pp.874-881 (2001).
  43. J. Okabayashi, A. Kimura, O. Rader, T. Mizokawa, A. Fujimori, T. Hayashi and M. Tanaka, "Angle-Resolved Photoemission Study of Ga<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>As", Phys. Rev. B64, pp.125304/1-4 (2001).
  44. 田中雅明, "半導体スピニエレトロニクス", 日本応用磁気学会第121回研究会「スピニエレクトロニクスの現状と将来展望」研究会資料121-2, pp.5-10 (2001).
  45. T. Yoshida, T. Hoshida, Y. Nasu, M. Kishi and M. Tsuchiya: Experimental Investigation on Carrier Dynamics in SCH-MQW Waveguide Saturable Absorber of Passively Mode-locked Monolithic Laser Diode, Optical and Quantum Electronics, Vol. 33, Issue 7/10, pp. 735-743 (July 2001).
  46. M. Tsuchiya, K. Igarashi, R. Yatsu, K. Taira, K. Y. Koay and M. Kishi: Sub-100 fs SDPF optical soliton compressor for diode laser pulses, Optical and Quantum Electronics, Vol. 33, Issue 7/10, pp. 751-766 (July 2001).
  47. K. Igarashi, M. Kishi and M. Tsuchiya: Higher-Order Soliton Compression of Optical Pulses from 5 ps to 20 fs by a 15.1 m-long Single-Stage Step-like Dispersion Profiled Fiber, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, Part 1, No. 11, pp. 6426-6429 (November 2001).
  48. 神谷武志, 土屋昌弘: 超高速フォトニクス, 応用物理, Vol. 70, No.11, pp. 1271-1280 (November 2001).
  49. Y. Nasu and S. Yamashita, "Multiple-phase-shift superstructure fiber Bragg grating for DWDM systems," IEE Electronics Letters, vol.37, no.24, pp.1471-1472, Nov. 2001.
  50. Masumi Saitoh, Mitsuru Takenaka, Byongjin Ma, and Yoshiaki Nakano, "All-optical wavelength conversion using a Fabry-Perot semiconductor optical amplifier", IEICE Transactions on Electronics, vol. E84-C, no. 12, pp. 1975-1978, December 2001.
  51. Y. Takita, Y. Ozeki, M. Kishi and M. Tsuchiya: Compact All-Optical Inverter of Extremely Abrupt Switching Characteristics with Dual-Mode Semiconductor Laser Employed, Electronics Letters, Vol.37, No.25, pp.1544-1545 (December 2001).
  52. S. Ohya, H. Shimizu, Y. Higo, J. M. Sun and M. Tanaka, "Growth and properties of quaternary alloy magnetic semiconductor (InGaMn)As", Jpn. J. Appl. Phys. 41, L24-L27 (2002).
  53. A.M. Nazmul, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Transport Properties of Mn delta-doped GaAs and the effect of selective doping", Appl. Phys. Lett. 80, pp.3120-3122 (2002).
  54. M. Tanaka (Invited paper), "Ferromagnet (MnAs) / III-V Semiconductor Hybrid Structures", Special Issue on Semiconductor Spintronics, Semiconductor Science and Technology 17, No.4, pp. 327-341 (2002).
  55. H. Shimizu and M. Tanaka, "Quantum size effect and ferromagnetic ordering in ultrathin GaMnAs/AlAs heterostructures", J. Appl. Phys. 91, pp.7487-7489 (2002).
  56. 清水大雅、田中雅明, "III-V族半導体中に形成されたMnAsナノクラスター構造の磁気光学効果と半導体導波路型光アイソレータへの応用", 電気学会マグネティックス研究会資料 MAG-02-30, pp.11-15, (2002).
  57. アーサン M. ナズムル、菅原聰、田中雅明, "MnデルタドープGaAsをベースとした半導体ヘテロ構造の物性と高い強磁性転移温度 (~170K)", 電気学会マグネティックス研究会資料 MAG-02-31, pp.17-21, (2002).
  58. M. Tsuchiya, K. Igarashi, S. Saito and M. Kishi: Sub-100 fs higher order soliton compression in dispersion- flattened fibers, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Vol.E 85-C, No.1, pp.141-149 (January 2002).
  59. E. Yamazaki, S. Wakana, M. Kishi and M. Tsuchiya: 10 GHz-Class Magneto-Optic Field Sensing with BiRIG Rotation Magnetization Employed, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.41, Part 1, No.2A,pp.904-907(February 2002).
  60. 土屋昌弘, 山崎悦史, 若菜伸一, 岸 真人: 光ファイバ端磁気光学(FEMO)プローブによる微小領域マイクロ波帯磁界分布測定, 日本応用磁気学会誌, Vol.26, No.3, pp.128-134 (March 2002).
  61. H. Shimizu and M. Tanaka, "Magneto-optical properties of a Si-doped GaAs:MnAs based magneto-photonic crystal operating at 1.55 micron", Physica E13, pp.597-601 (2002).
  62. A. M. Nazmul, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Transport Properties and High Curie Temperature (172 K) of Mn-delta-doped GaAs with Selective p-type Doping", eprint <http://xxx.lanl.gov/pdf/cond-mat/0208299> (August 2002).
  63. H. Shimizu and M. Tanaka, "Design of semiconductor-waveguide-type optical isolators using the

- non-reciprocal loss/gain in the magneto-optical waveguides having MnAs nanoclusters", Appl. Phys. Lett. 81, pp.5246-5248 (2002).
64. K. Igarashi, S. Saito, M. Kishi and M. Tsuchiya: Broadband and extremely flat super-continuum generation via optical parametric gain extended spectrally by fourth-order dispersion in anomalous-dispersion-flattened fibers, Special issue on Nonlinear Optics of Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 8, No. 3, pp. 521-526 (May / June 2002).
  65. E. Yamazaki, H. Park, S. Wakana, M. Kishi and M. Tsuchiya: Implementation of Magneto-Optic Probe with > 10 GHz Bandwidth, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.41, Part 2, No.7B, pp. L864 - L866 (July 2002).
  66. Y. Nasu and S. Yamashita, "Fabrication of long superstructure fiber Bragg gratings (SSFBG's) using a novel scanning phase-mask technique," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), vol. 41, part I, no.7B, pp.4790-4793, Jul. 2002.
  67. Ichitaro Waki, Chaiyasit Kumtornkittikul, Kentaro Sato, Yukihiko Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "Characterization of crack-free AlN/GaN multiple quantum wells grown by metalorganic vapor phase epitaxy using H<sub>2</sub> as a carrier gas", Physica Status Solidi (b), vol. 234, no. 3, pp. 961-964, December 2002.
  68. H. Shimizu and M. Tanaka, "Design of semiconductor-waveguide-type optical isolators using the non-reciprocal loss/gain in the magneto-optical waveguides having MnAs nanoclusters", Virtual Journal of Nanoscale Science & Technology, January 6, 2003.,<http://www.vjnano.org/>
  69. G. Mahieu, P. Condette, B. Grandidier, J.P. Nys, G. Allan, D. Stievenard, Ph. Evert, H. Shimizu and M. Tanaka, "Compensation Mechanisms in Low-temperature Grown GaMnAs Investigated by Scanning Tunneling Microscopy", Appl. Phys. Lett. 82, pp.712-714 (2003)
  70. S. Saito, M. Kishi and M. Tsuchiya: Dispersion-flattened-fibre optical parametric oscillator for wideband wavelength-tunable ps pulse generation, Electronics Letters, vol. 39, No. 1, pp. 86-88 (January 2003).
  71. K. Torii and S. Yamashita, "Efficiency improvement of optical fiber wavelength converter without spectral spread using synchronous phase/frequency modulations," IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, vol.21, no.4, pp.1039-1045, Apr. 2003.
  72. S. Yamashita and R. Hayashi, "Measurement of fiber chromatic dispersion using a mode-locked fiber laser," IEICE Transactions on Electronics, vol.E86-C, no.5, pp.838-841, May 2003
  73. Ichitaro Waki, Chaiyasit Kumtornkittikul, Yukihiko Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "Shortest intersubband transition wavelength (1.68 μm) achieved in AlN/GaN multiple quantum wells by metalorganic vapor phase epitaxy", Applied Physics Letters, vol. 82, no. 25, pp. 4465-4467, June 23, 2003.
  74. S. Nakadai, K. Higuma, S. Oikawa, M. Kishi and M. Tsuchiya: Generation of 60 GHz Dual-Mode Optical BPSK Signal Pair for Cross-Talk-Free QPSK Photo-Detection by Optical Modulation Scheme with Double RF Inputs and Suppressed Carrier Feature, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, vol. E 86-C, No. 7, pp.1245-1250 (July 2003)
  75. E. Yamazaki, S. Wakana, M. Kishi and M. Tsuchiya (Invited): High Frequency Magneto-Optic Probe Based on BiRIG Rotation Magnetization, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, vol. E 86-C, No. 7, pp.1338-1344 (July 2003)
  76. S. Yamashita and K. Torii, "Polarization-independent, highly-efficient optical fiber wavelength converter without spectral spread using synchronous phase/frequency modulations," IEICE Transactions on Electronics, vol.E86-C, no.7, pp.1370-1373, July 2003.
  77. Mitsuru Takenaka and Yoshiaki Nakano, "Multimode interference bistable laser diode", IEEE Photonics Technology Letters, vol. 15, no. 8, pp. 1035-1037, August 2003.
  78. A. M. Nazmul, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Structural and Transport Properties of Mn-delta-doped GaAs", J. Cryst. Growth 251, pp.303-310 (2003).
  79. M. Tanaka (Invited paper), "Spin-polarized Tunneling in Fully Epitaxial Semiconductor-based Magnetic Tunnel Junctions", Journal of Superconductivity; Incorporating Novel Magnetism 16, pp.241-248 (2003).
  80. A.M. Nazmul, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Ferromagnetism and High Curie Temperature in Semiconductor Heterostructures with Mn-delta-doped GaAs and p-type Selective Doping", Phys. Rev. B67, pp.241308(R) 1-4 (2003).
  81. K. Ueda, H. Shimizu, and M. Tanaka, "Magneto-Optical Kerr Effect of Semiconductor-based Multilayer Structures Containing a GaAs:MnAs Granular Thin Film", Jpn. J. Appl. Phys. 42, L914-L917 (2003).

82. S. Ohya, H. Kobayashi, and M. Tanaka, "Magnetic properties of heavily Mn-doped quaternary alloy magnetic semiconductor (InGaMn)As grown on InP", *Appl. Phys. Lett.* 83, pp.2175-2177 (2003).
83. 上田和彦, 清水大雅, 田中雅明, "GaAs/AlAs DBRとMnAsナノクラスターを含む半導体積層構造の設計及び磁気光学物性", 日本応用磁気学会誌 27, pp.273-276 (2003).
84. K. Ueda, H. Shimizu, and M. Tanaka, "Design, fabrication, and magneto-optical properties of multilayers containing GaAs/AlAs DBR and MnAs nano clusters", *Journal of the Magnetics Society of Japan*, 27, pp.273-276 (2003).
85. 田中雅明, アーサンナズムル, 菅原聰, 「磁性元素を含むIII-V族半導体ヘテロ接合: 磁気輸送特性と強磁性制御」, マテリアルインテグレーション2003年9月号 (特集: スピントロニクス), Vol. 16, No.9, pp.5-10 (2003).
86. M. Tanaka, A. M. Nazmul, S. Sugahara, "III-V semiconductor heterostructures containing magnetic dopants: Magnetotransport properties and control of ferromagnetism", *Material Integration, Special Issue on Spintronics*, Vol. 16, No.9, pp.5-10 (2003).
87. Ho-Jin Oh, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "Surface reaction kinetics in metalorganic vapor phase epitaxy of GaAs through analyses of growth rate profile in wide-gap selective-area growth", *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 42, part 1, no. 10, pp. 6284-6291, October 2003.
88. Ho-Jin Oh, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "Comparison of organic and hydride group V precursors in terms of surface kinetics in wide-gap selective area metalorganic vapor phase epitaxy", *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 42, part 2, no. 10A, pp. L1195-L1197, October 1, 2003.
89. N. Haneji, G. Segami, T. Ide, T. Suzuki, T. Arakawa, K. Tada, Y. Shimogaki, and Y. Nakano, "Electron cyclotron resonance-reactive ion etching of III-V semiconductors by cyclic injection of CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar and O<sub>2</sub> with constant Ar flow", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 42, 3958-3961 (2003).
90. H.J. Oh, M. Sugiyama, Y. Nakano, and Y. Shimogaki, "Factors determining the generation of polycrystalline growth over masks in selective-area metalorganic vapor phase epitaxy: Gas-phase concentration analysis", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 42, L359-L361 (2003).
91. A. Kuramoto and S. Yamashita, "All optical regeneration using a side-mode injection-locked semiconductor laser," *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Special Issue on Semiconductor Lasers*, vol.9, no.5, pp.1283- 1287, Oct. 2003.
92. S. Ohya, H. Yamaguchi, and M. Tanaka, "Properties of Quaternary Alloy Magnetic Semiconductor (InGaMn)As Grown on InP", *Journal of Superconductivity; Incorporating Novel Magnetism* 16, pp.139-142, December 2003.
93. J. Okabayashi, M. Mizuguchi, M. Oshima, H. Shimizu, M. Tanaka, M. Yuri, and C.T. Chen, "Electronic and magnetic properties of MnAs nanoclusters studied by x-ray absorption spectroscopy and x-ray magnetic circular dichroism", *Appl. Phys. Lett.* 83, pp.5485-5487, December 2003.
94. R. Hayashi, S. Yamashita and T. Saida, "16-wavelength, 10GHz, actively mode-locked fiber laser with demultiplexed outputs anchored on the ITU-T grid," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol.15, no.12, pp.1692-1694, Dec. 2003.
95. Mitsuru Takenaka and Yoshiaki Nakano, "Realization of all-optical flip-flop using directionally-coupled bistable laser diode", *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 16, no. 1, pp. 45-47, January 2004.
96. A. M. Nazmul, S. Kobayashi, S. Sugahara and M. Tanaka, "Electrical and optical control of ferromagnetism in III-V semiconductor heterostructures at high temperature (~100 K)", *Jpn. J. Appl. Phys.* 43, pp.L233 - L236, January 2004.
97. Ik-Tae Im, Ho-jin Oh, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "Fundamental kinetics determining growth rate profiles of InP and GaAs in MOCVD with horizontal reactor", *Journal of Crystal Growth*, vol. 261, no. 2-3, pp. 214-224, February 2004.
98. Ho-jin Oh, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "The effect of group V precursor on selective area MOVPE of InP/GaAs-related materials", *Journal of Crystal Growth*, vol. 261, no. 2-3, pp. 419-426, February 2004.
99. Masakazu Sugiyama, Ho-jin Oh, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "Polycrystals growth on dielectric masks during InP/GaAs selective MOVPE", *Journal of Crystal Growth*, vol. 261, no. 2-3, pp. 411-418, February 2004.
100. O. Rader, C. Pampuch, A. M. Shikin, W. Gudat, J. Okabayashi, T. Mizokawa, A. Fujimori, T. Hayashi, M. Tanaka, A. Tanaka, A. Kimura, "Resonant photoemission of Ga<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>As at the Mn L edge", *Phys.*

Rev. B69, pp. 075202/1-7, February 2004.

101. A.M. Nazmul, S. Kobayashi, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Control of Ferromagnetism in Mn Delta-doped GaAs-based Heterostructures", *Physica E*21, pp.937-942, March 2004.
102. S. Ohya, H. Kobayashi, and M. Tanaka, "Magnetic Properties and Curie Temperature (~130K) of Heavily Mn-doped Quaternary Alloy Ferromagnetic Semiconductor (InGaMn)As Grown on InP", *Physica E*21, pp.975-977, March 2004.
103. R. Nakane, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Epitaxial growth and magnetic properties of MnAs/NiAs/MnAs spin-valve trilayers on GaAs(001) substrates", *Physica E*21, pp.991-995, March 2004.
104. T. Ogawa, Y. Shuto, K. Ueda, and M. Tanaka, "Photo-induced anomalous Hall effect in GaAs:MnAs granular films", *Physica E*21, pp.1041-1045, March 2004.
105. 山下真司, "UV光誘起屈折率変化を用いた光ファイバグレーティング作製技術," *NEW GLASS*, vol.19, no.1, pp.35-42, Mar. 2004.
106. Xueliang Song, Naoki Futakuchi, Zhenrui Zhang, Daisuke Miyashita, and Yoshiaki Nakano, "Monolithically integrated Mach-Zehnder interferometer all-optical switches by selective area MOVPE", submitted to *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, April 2004.
107. S. Yamashita and J. Suzuki, "All-optical 2R regeneration using a two-mode injection-locked Fabry-Perot laser diode," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol.16, no.4, pp.1176-1178, Apr. 2004.
108. 山下真司, "カーボンナノチューブの光応用," 光産業技術振興協会光技術動向調査委員会報告書, Apr. 2004.
109. S. Yamashita, S. Maruyama, Y. Murakami, Y. Inoue, H. Yaguchi, M. Jablonski, S.Y.Set, "Saturable absorbers incorporating carbon nanotubes directly synthesized onto substrates/fibers and their application to mode-locked fiber lasers," *OSA Optics Letters*, vo.29, no.14, pp.1581-1583, July 2004.
110. K. Kashiwagi and S. Yamashita, "Fabrication of silica-based glass optical waveguide by UV beam scanning," *Japanese Journal of Applied Physics (JJAP)*, vol.43, no.8B, pp.5850-5853, Aug. 2004.
111. S. Yamashita and A. Inaba, "FBG laser sensor with intracavity dispersive fiber; based on mode-locking frequency interrogation," *Measurement Science and Technology Journal*, vol.15, no.9, pp.1536-1538, Sept. 2004.
112. M. Tani and S. Yamashita, "Cancellation of spectral spread in SBS-suppressed fiber wavelength converters using a single phase modulator," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol.16, no.9, pp. 2096-2098, Sept. 2004.
113. 山下真司, "カーボンナノチューブの短パルス光ファイバレーザ応用," *オプトニュース*, no.5, pp.34-36, 2004.
114. Hiromasa Shimizu and Yoshiaki Nakano, "First demonstration of TE mode nonreciprocal propagation in an InGaAsP/InP active waveguide for an integratable optical isolator", *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 43, no. 12A, pt. 2 (Express Letter), pp. L1561-L1563, November 12, 2004.

## (2) 口頭発表

①招待、口頭講演 (国内学会 256件、国際学会 207件)

1. Drew N. Maywar, Govind P. Agrawal, and Yoshiaki Nakano, "Semiconductor optical memory based on DFB Amplifier (DFB SOAに基づく半導体光メモリー)", 電子情報通信学会技術研究報告(フォトニックネットワークをベースとする次世代インターネット研究会), PNI99-19, pp. 83-87, 1999年11月25日.
2. 馬炳眞, 斎藤真澄, 中野義昭, "方向性結合半導体光アンプ型波長変換器の動特性解析 (Analysis of dynamic characteristics of wavelength converter based on directionally coupled semiconductor optical amplifiers)", 電子情報通信学会技術研究報告(光エレクトロニクス研究会), OPE99-90, pp. 1-6, 1999年11月25-26日.
3. 加藤正樹, 中野義昭, "伸張歪変調ポテンシャル量子井戸を用いた偏光無依存ブルーチャーEA変調器 (Polarization-insensitive and blue-chirp electroabsorption modulator using tensile-strained potential-tailored quantum well)", 電子情報通信学会技術研究報告(光エレクトロニクス研究会), OPE99-91, pp. 7-12, 1999年11月25-26日.
4. 山下真司, 松本大輔, "半導体DFBレーザへの光注入同期による波形整形,", 電子情報通信学会技術研究報告(光通信システム研究会), OCS99-82, 1999年11月26日.

5. Hiromasa Shimizu, Makoto Miyamura, and Masaaki Tanaka, "Enhanced magneto-optical effect of GaAs:MnAs magnetic nanoclusters with GaAs/AlAs distributed Bragg reflectors: a semiconductor based magneto-photonic crystal", 5th Symp. on the Physics and Application of Spin-Related Phenomena in Semiconductors, Sendai, paper C2, pp.68-71, December 16-17, 1999.
6. Yoshiaki Nakano, "(Invited Paper) Semiconductor photonic functional devices", Technical Digest, International Topical Workshop on Contemporary Photonic Technologies (CPT 2000), Fa-1, p. 121, Tokyo, January 12-14, 2000.
7. Hiromasa Shimizu, Makoto Miyamura, and Masaaki Tanaka, "Enhanced magnet-optical effect in a GaAs/MnAs nanoscale hybrid structure sandwiched by GaAs/AlAs distributed Bragg reflectors", 27th Conference on the Physics and Chemistry of Semiconductor Interfaces, Salt Lake City, USA, January 16-20, 2000.
8. 斎藤真澄, 馬炳眞, 竹中充, 中野義昭, "ファブリペロ型半導体光増幅器を用いた波長変換 (Wavelength conversion using Fabry-Perot semiconductor optical amplifier)", 電子情報通信学会技術研究報告(光エレクトロニクス研究会, LQE, PS, EMT共催), OPE99-129, pp. 31-36, 2000年1月18-19日.
9. 清水大雅, 宮村信, 田中雅明, "GaAs/AlAs DBRを用いた半導体/強磁性体金属複合構造 GaAs:MnAs及び磁性半導体(GaMn)Asの磁気光学効果の増大", 電気学会マグネティックス研究会, MAG00-14, pp.25-28, 豊橋技術科学大学, 2000年2月7日-8日.
10. 中野義昭, "(招待講演) 通信用半導体光集積デバイスの動向", 電子情報通信学会技術研究報告(集積光デバイス技術研究会), IPD99-24, pp. 8-19, 2000年2月18日.
11. 田中雅明, "磁性体／半導体エピタキシャル超構造- III-V族化合物半導体をベースとした磁性 ヘテロ構造の物性とその応用- "「21世紀に向けた半導体物理工学」シンポジウム, 23pK-8, 日本物理学会2000年春の分科会, 関西大学, 2000年3月23日.
12. 加藤正樹, 中野義昭, "InGaAs/InAlAs歪み補償プリバイアス量子井戸によるMQW-EA変調器 の偏光無依存負チャープ動作 (Polarization-insensitive and negative-chirp operation of MQW-EA modulator by InGaAs/InAlAs strain-compensated pre-biased quantum well)", 電子情報通信学会総合大会(広島大学)講演論文集, エレクトロニクス1, C-4-15, 2000年3月28日.
13. 斎藤真澄, 馬炳眞, 中野義昭, "ファブリペロ半導体光アンプ型波長変換器の提案と実証 (Proposal and demonstration of a wavelength converter based on Fabry-Perot semiconductor optical amplifier)", 第47回応用物理学関係連合講演会(青山学院大学), 28p-ZF-9, 2000年3月28日.
14. 斎藤真澄, 馬炳眞, 中野義昭, "方向性結合半導体光増幅器を用いた波長変換の時間応答特性 (Dynamic characteristics of wavelength conversion using directionally coupled semiconductor optical amplifiers)", 第47回応用物理学関係連合講演会(青山学院大学), 28p-ZF-10, 2000年3月28日.
15. 中野義昭, "(招待講演) 半導体デジタル波長変換器 (Semiconductor digital wavelength converters)", 電子情報通信学会総合大会(広島大学)講演論文集, 2000年3月29日.
16. 山下真司, 松本大輔, "半導体DFBレーザへの光注入同期による波形整形における緩和振動の 抑圧", 電子情報通信学会総合大会(広島大学)講演論文集, B-10-174, 2000年3月29日.
17. 加藤正樹, 中野義昭, "偏光無依存プリバイアス量子井戸電界吸収型光変調器の作製許容誤差 の検討 (Fabrication tolerance of pre-biased quantum well polarization-independent electroabsorption modulators)", 第47回応用物理学関係連合講演会(青山学院大学), 29p-ZF-7, 2000年3月29日.
18. 中野貴之, 中野義昭, 霜垣幸浩, "MOVPEにおけるGaAs/InGaPヘテロ界面形成の動的エリップソメトリ法によるその場観察 (Kinetic ellipsometric measurement of GaAs/InGaP hetero-interface formation in MOVPE)", 第47回応用物理学関係連合講演会(青山学院大学), 29a-P8-15, 2000年3月29日.
19. 深津公良, 加藤正樹, 中野義昭, "低電圧動作光スイッチのためのInGaAs/InAlAs/InP非対称三重結合量子井戸 (InGaAs/InAlAs/InP asymmetric triple coupled quantum well for low voltage operation of optical switch)", 第47回応用物理学関係連合講演会(青山学院大学), 29p-ZF-6, 2000年3月29日.
20. 清水大雅, 宮村信, 田中雅明, 安藤功兒, "GaAs/AlAs DBRを用いた半導体/強磁性体金属複合構造GaAs:MnAsの磁気光学効果の増大", 第47回応用物理学関連連合講演会(青山学院大学), 29aYC-9, 2000年3月29日.
21. 宮村信, 清水大雅, 西永頌, 田中雅明, "GaAs/AlAs DBRを用いたGaAs:MnAsハイブリッド構造の磁気光学効果 : 理論計算と設計", 第47回応用物理学関連連合講演会(青山学院大学), 29aYC-10, 2000年3月29日.
22. Olivier Feron, Masakazu Sugiyama, Weerachai Asawamethapant, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "Experimental and numerical study of In<sub>1-x</sub>GaxAsyP<sub>1-y</sub> materials MOVPE", 第47回応用物理学関係連合講演会(青山学院大学), 31a-P20-17, 2000年3月31日.

23. Y. Shimogaki, O. Feron, M. Sugiyama, and Y. Nakano, "Application of Simulation to CVD analysis and reactor design", Proc. of 2000 IAMS International Seminar, "Thermal Design and Management for Electronic Equipment and Material Processing", Institute of Advanced Material Study, Kyushu University, Kasuga, Japan, pp.106-113 (2000).
24. Byongjin Ma, Masumi Saitoh, and Yoshiaki Nakano, "All-optical wavelength conversion based on Fabry-Perot semiconductor optical amplifier", Technical Digest, Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2000), CThG5, pp. 422-423, San Francisco, California, May 11, 2000.
25. Olivier Feron, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "Experimental and numerical study of InGaAsP materials growth kinetics and composition", Fifteenth International Conference on Chemical Vapor Deposition (CVD XV), the 197th Meeting of The Electrochemical Society, Abstract No.943, Toronto, Canada, May 14-18, 2000.
26. O. Feron, M. Sugiyama, Y. Nakano, and Y. Shimogaki, "An experimental and numerical study of the composition distribution of InGaAsP quaternary materials in a horizontal MOCVD reactor", Conference Proceedings. 12th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM2000), IEEE, Williamsburg, USA, pp.368-371, May 14-18, 2000.
27. 田島卓郎, 林國人, Drew N. Maywar, Weerachai Asawamethapant, 中野義昭, "重み付け電子線露光によるチャーブトグレーティングの試作とDFBレーザへの応用 (Fabrication of chirped gratings using weighted EB lithography and its application to DFB lasers)", 電子情報通信学会技術研究報告(光エレクトロニクス研究会), OPE00-8, pp. 43-48, 2000年5月26日.
28. Olivier Feron, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "Kinetic study of P and As desorption from binary and ternary III/V semiconductor surface by in-situ ellipsometry", Workbook, 10th International Conference on Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy, We-A2, pp. 157-158, Sapporo, June 5-9, 2000.
29. S. Wakana, T. Ohara, M. Abe, E. Yamazaki, M. Kishi, and M. Tsuchiya, "Novel electromagnetic field probe using electro/magneto-optical crystal mounted on an optical-fiber facet for microwave circuit diagnosis", Technical Digest of IEEE MTT-S International Microwave Symposium 2000 (IMS2000), Boston, TH3C-3, pp. 1615-1618, June 13, 2000.
30. K. Igarashi, M. Kishi, and M. Tsuchiya, "20 fs SDPF optical soliton compressor", Technical Digest of International Workshop on Femtosecond Technology (FST 2000), Tsukuba, TA-5, p. 24, June 29, 2000.
31. A. G. Banshchikov, R. V. Pisarev, A. A. Rzhevsky, N. S. Sokolov, A. M. Nazmul, and M. Tanaka, "Epitaxial growth and characterization of MnAs/Si(111) nanoscale magnetoelectronic heterostructures", Int. Symp. on Nanostructures, Physics and Technology 2000, St. Petersburg, Russia, June 2000.
32. 加藤正樹, 中野義昭, "MQW-EA変調器における光誘起屈折率変化を利用した全光スイッチ／波長変換器の提案", 電子情報通信学会技術研究報告(光エレクトロニクス研究会, LQE, PS, EMT共催), 東京・機械振興会館, OPE00-40, pp. 43-48, 2000年7月7日.
33. K. Ando, W. Zaets, R. Akimoto, H. Tanoue, Y. Mishima, and M. Tanaka, "Magneto-optical spectra of III-V diluted magnetic semiconductors (GaCr)As and (GaMn)As", Symposium on Spin Electronics (SSE-2000), PA-10, Halle, Germany, July 3-6 2000.
34. J. Okabayashi, O. Rader, T. Mizokawa, A. Fujimori, T. Hayashi, and M. Tanaka, "Electronic Structure of (GaMn)As Studied by Photoemission Spectroscopy", Symposium on Spin-Electronics (SSE-2000), PA-77, Halle, Germany July 3-6, 2000.
35. H. Shimizu, M. Miyamura, and M. Tanaka, "Engineered Magneto-optical Effect in a Semiconductor-Based Magneto-Photonic Crystal", Symposium on Spin-Electronics (SSE-2000), WE-8, Halle, Germany July 3-6, 2000.
36. Byongjin Ma, Masumi Saitoh, and Yoshiaki Nakano, "Dynamic properties of wavelength converter based on directionally coupled semiconductor optical amplifiers", Technical Digest, the Fifth Optoelectronics and Communications Conference (OECC 2000), 12P-65, pp. 316-317, Makuhari, Chiba, July 11-14, 2000.
37. アーサン M. ナズムル, A.G. バンシチコフ, 清水大雅, 田中雅明, "Si半導体基板上への強磁性MnAs薄膜成長の初期過程", 平成12年度・東北大学電気通信研究所・共同プロジェクト研究会「半導体エピタキシャル成長の原子レベル制御に関する研究」, 2000年7月13日～14日, 仙台秋保
38. K. Igarashi, M. Kishi, and M. Tsuchiya, "21fs higher-order soliton compression of semiconductor laser pulses by a step-like dispersion profiled fiber", Technical Digest of Fifth Optoelectronics and Communications Conference (OECC 2000), Makuhari, 14D2-4, pp. 574-575, July 14, 2000.

39. S. Yamashita and M. Nishihara, "Long-wavelength-band erbium-doped fiber amplifier incorporating an inline 1.55mm-band fiber grating laser," Optical Electronics and Communications Conf. (OECC'2000), no.12B1-1, July 2000.
40. S. Yamashita and D. Matsumoto, "Waveform regeneration based on injection locking of a distributed-feedback semiconductor laser," Optical Electronics and Communications Conf. (OECC'2000), no.13C1-2, July 2000.
41. S. Yamashita and K. Torii, "Highly efficient optical fiber wavelength conversion without spectral spread," Optical Electronics and Communications Conf. (OECC'2000), no.PD2-8, July 2000.
42. 山下真司, 馬場輝幸, 波平宜敬, "多波長光ファイバレーザによる偏波モード分散(PMD)測定," 電子情報通信学会光通信システム研究会(ラポート兼六, 金沢), OCS2000-37, 2000年7月.
43. 山下真司, 鳥居健一, "スペクトル広がりのない高効率光ファイバ波長変換器," 電子情報通信学会光通信システム研究会(ラポート兼六, 金沢), OCS2000-40, 2000年7月.
44. 山下真司, K. Hsu, "光ファイバファブリ・ペローレーザ(FFPL)の10GHz能動モード同期動作," 電子情報通信学会光通信システム研究会(ラポート兼六, 金沢), OCS2000-44, 2000年7月.
45. 田中雅明, "磁性体/半導体複合ナノ構造", 平成12年度放射光・ナノリンク合同ワークショップ, 東京大学本郷キャンパス, 2000年8月22日.
46. Masumi Saitoh, Mitsuru Takenaka, Byongjin Ma, and Yoshiaki Nakano, "Demonstration of all-optical wavelength converter based on Fabry-Perot semiconductor optical amplifier", Extended Abstracts of 2000 International Conference on Solid State Devices and Materials, Sendai, 2000, pp. 78-79, August 30, 2000.
47. 清水大雅, 田中雅明, 安藤功兒, "半導体ベース1次元磁性フォトニック結晶における磁気光学特性の改善", 2000年秋季第61回応用物理学会, 4p-ZN-10, 北海道工業大学, 2000年9月.
48. 中野貴之, 中野義昭, 霜垣幸浩, "MOVPEにおけるGaAs/InGaPヘテロ界面形成の動的エリプソメトリ法によるその場観察(2) (Kinetic ellipsometric measurement of GaAs/InGaP hetero-interface formation in MOVPE 2)", 第61回応用物理学会学術講演会(北海道工業大学), 3p-ZA-4, 2000年9月3日.
49. 加藤正樹, 中野義昭, "InGaAs/InAlAs MQW-EA変調器における光誘起屈折率変化と全光デバイスへの応用", 平成12年秋季第61回応用物理学会学術講演会, 北海道工業大学, 4a-ZE-5, p1028, 2000年9月4日.
50. 山崎悦史, 若菜伸一, 岸眞人, 土屋昌弘, "横方向直流磁界印加によるファイバ端磁気光学プローブの感度改善", 2000年秋季第61回応用物理学会学術講演会, 北海道札幌市, 2000年9月4日
51. 阿部真理, 大原拓也, 若菜伸一, 岸眞人, 土屋昌弘, "FP干渉計構造によるEOプローブの感度向上", 2000年秋季第61回応用物理学会学術講演会, 北海道札幌市, 2000年9月4日.
52. 中野義昭, "半導体光スイッチ・波長変換素子", 平成12年秋季第61回応用物理学会学術講演会, 北海道工業大学, 5p-K-6, p37, 2000年9月5日.
53. 宋学良, 宮下大輔, 並木亮介, 二口尚樹, 加藤正樹, 中野義昭, "機能性多モード干渉(MMI)デバイスの設計と試作", 平成12年秋季第61回応用物理学会学術講演会, 北海道工業大学, 5a-K-7, p1037, 2000年9月5日.
54. 田島卓郎, Weerachai Asawamethapant, 林國人, Drew N. Maywar, 中野義昭, "DFBレーザに向けた線型チャーブトグレーティングの電子線露光による作製", 平成12年秋季第61回応用物理学会学術講演会, 北海道工業大学, 6p-R-3, p993, 2000年9月6日
55. 五十嵐浩司, 岸眞人, 土屋昌弘, "分散平坦ファイバにおけるサブ100fs光パルスの伝搬", 2000年秋季第61回応用物理学会学術講演会, 北海道札幌市, 2000年9月6日.
56. 岸眞人, 鬼頭大介, 土屋昌弘, "顕微ラマン分光法によるレーザダイオードの発光端面温度測定II ("Facet Temperature Characterization of Active Laser Diode by Microscopic Raman Spectroscopy II)", 第61回応用物理学会学術講演会予稿集, 北海道札幌市, 6a-R-2, p.989, 2000年9月6日.
57. M. Tanaka, M. Miyamura, and H. Shimizu (Invited), "Enhancement of magneto-optical effect in a GaAs:MnAs hybrid structure sandwiched by GaAs/AlAs distributed Bragg reflectors", 11th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, Mo4.1, Beijing, September 10-15, 2000.
58. Ahsan M. Nazmul, A. G. Banshchikov, H. Shimizu, and M. Tanaka, "MBE growth process of ferromagnetic MnAs on Si(111) substrates", 11th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, Mo4.4, Beijing, September 10-15, 2000.

59. M. Tanaka and Y. Mishima, "Low Temperature Molecular Beam Epitaxy Growth and Properties of (Ga, Er)As and (Ga, Er, Mn)As", 11th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, Mo4.5, Beijing, September 10-15, 2000.
60. 霜垣幸浩, Olivier Feron, 杉山正和, 中野義昭, "InGaAsP系化合物半導体結晶成長メカニズムと組成・成長速度のシミュレーション", 化学工学会第33回秋季大会(静岡大学)研究発表講演要旨集, D118, 2000年9月12日.
61. 中野貴之, 中野義昭, 霜垣幸浩, "分光エリプソメトリによるその場観察を活用した GaAs/InGaP界面の構造制御", 化学工学会第33回秋季大会(静岡大学)研究発表講演要旨集, D202, 2000年9月13日.
62. 清水大雅, 宮村信, 田中雅明, "半導体ベース磁性フォトニック結晶", 日本応用磁気学会第24回学術講演会「ナノ・メゾスコピック磁性体の構造と機能」シンポジウム, 2000年9月13日, 早稲田大学.
63. T. Ohara, M. Abe, S. Wakana, M. Kishi, M. Tsuchiya, and S. Kawasaki "Two-Dimensional Field Mapping of Microstrip Lines with a Band Pass Filter or a Photonic Bandgap Structure by Fiber-Optic EO Spectrum Analysis System", International Topical Meeting on Microwave Photonics, Oxford, United Kingdom, September 13, 2000.
64. Y. Ozeki, K. Nishikawa, M. Kishi, and M. Tsuchiya, "156 Mb/s DPSK Optical MM-wave Transmission Employing a 60 GHz Optoelectronic Image Rejection Mixer", International Topical Meeting on Microwave Photonics, Oxford, United Kingdom, September 13, 2000.
65. H. Shimizu, M. Miyamura, and M. Tanaka, "Engineered Magneto-Optical Effect in Semiconductor-Magnetic Hybrid Structures : Theoretical Design and Improvement of Magneto-Optical Properties", The International Conf. on the Physics and Application of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASP-2000), Sendai, paper G1, pp.90-91, September 13-15, 2000..
66. Okabayashi, O. Rader, T. Mizokawa, A. Fujimori, T. Hayashi, and M. Tanaka, "Electronic Structure of III-V Based Diluted Magnetic Semiconductor (GaMn)As Studied by Photoemission Spectroscopy", The International Conf. on the Physics and Application of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASP-2000), Sendai, paper D14, pp.31-32, September 13-15, 2000.
67. H. Shimizu, M. Miyamura, and M. Tanaka, "Engineered Magneto-Optical Effect due to Localization of Light in Semiconductor-Magnetic Hybrid Structures", 25th International Conference on the Physics of Semiconductors, paper D265, Osaka, September 17-22, 2000.
68. K. Ando, H. Saito, W. Zaets, R. Akimoto, Y. Mishima, and M. Tanaka, "Magnetic Circular Dichroism Spectra of Diluted Magnetic Semiconductors (Ga, Mn)As and (Ga, Cr)As", 25th International Conference on the Physics of Semiconductors, paper G44, Osaka, September 17-22, 2000.
69. J. Okabayashi, A. Kimura, O. Rader, T. Mizokawa, A. Fujimori, T. Hayashi, and M. Tanaka "Electronic structure of spin-controlled III-V based diluted magnetic semiconductor Ga<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>As studied by photoemission spectroscopy", 25th International Conference on the Physics of Semiconductors, paper G45, Osaka, September 17-22, 2000.
70. 中野義昭, "半導体波長変換・光スイッチングデバイス", 第77回微小光学研究会プログラム「次世代ネットワークと光スイッチング」(マイクロオプティクスニュース(応用物理学学会/日本光学会/微小光学研究グループ機関誌)), 横浜市・東京工業大学, vol. 18, no. 3, pp. 13-18, 2000年9月20日.
71. 山下真司, 鳥居健一, "スペクトル広がりのない高効率光ファイバ波長変換器," 2000年電子情報通信学会 ソサエティ大会 (名古屋工業大学, 名古屋), no. B-10-156, 2000年9月.
72. 山下真司, 馬場輝幸, 波平宜敬, "多波長光ファイバレーザを用いた偏波モード分散(PMD)測定," 2000年電子情報通信学会 ソサエティ大会 (名古屋工業大学, 名古屋), no. B-13- 14, 2000年9月.
73. 田中雅明, "III-V Based Epitaxial Magnetic Heterostructures", 東京大学ナノリンク研究会, 2000年9月29日.
74. Takuro Tajima, Weerachai Asawamethapant, Kunito Hayashi, Drew N. Maywar, and Yoshiaki Nakano, "Fabrication of DFB laser amplifiers with linearly-chirped gratings by weighted EB lithography (重み付け電子線露光を用いた線型チャーピングDFBレーザ増幅器の作製)", 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会, 名古屋工業大学, 講演論文集1, C-4-14, p. 285, 2000年10月2日.
75. 小関泰之, 高橋直樹, 横山仁, 田口智之, 岸眞人, 土屋昌弘, "フォトニックダウンコンバージョンにおけるチャーピング機能とそれを用いた60GHz帯アップリンク構成の簡素化", 2000年9月29日.

- 化”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 名古屋工業大学, 2000年10月2日.
76. S. Wakana, T. Kikkawa, N. Okamoto, H. Tanaka, and M. Tsuchiya "Picosecond response of Carbon doped InGaP photoconductive gate", IEEE 27<sup>th</sup> International Symposium on Compound Semiconductor (ISCS2000), Monterey, U.S.A., TuB8, p60, October 2, 2000.
  77. Xueliang Song, Daisuke Miyashita, Ryosuke Namiki, Naoki Futakuchi, Masaki Kato, and Yoshiaki Nakano, "Functional multimode interference (MMI) devices for all-optical switches -design and fabrication(全光スイッチに向けた機能性多モード干渉デバイス－設計と試作)", 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会, 名古屋工業大学, 講演論文集1, C-3-79, p. 205, 2000年10月3日.
  78. 加藤正樹, 中野義昭, “MQW-EA変調器を用いた全光Mach-Zehnder干渉計スイッチ/波長変換器の提案 (Proposal of all-optical Mach-Zehnder interferometer switch/wavelength converter using MQW EA modulators)”, 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会, 名古屋工業大学, 講演論文集1, C-4-19, p. 290, 2000年10月3日.
  79. 田中雅明, "半導体スピントロニクスの現状と展望", 新機能素子技術シンポジウム, 東京経団連会館, 2000年10月4日－5日
  80. 高橋直樹, 小関泰之, 横山仁, 田口智之, 岸眞人, 土屋昌弘, "チャーピ反転フォトニックダウンコンバージョンを用いた60GHz 帯光ミリ波アップリンク", 第3回マイクロ波フォトニクス研究会, 横須賀, MWP2000-3, pp. 15-20, 2000年10月25日.
  81. 大久保直樹, 川崎繁男, 大原拓也, 若菜伸一, 岸眞人, 土屋昌弘, "PBG構造マイクロ波線路の設計・試作と光プローブ法による特性計測", 第3回マイクロ波フォトニクス研究会, 神奈川県横須賀市, MWP2000-5, pp. 29-34, 2000年10月25日.
  82. 伊東悌, 小関泰之, 荘司洋三, 高畠清人, 土屋昌弘, "MWP2000報告", 第3回マイクロ波フォトニクス研究会, 横須賀, MWP2000-14, pp. 95-102, 2000年10月25日.
  83. M. Tanaka and H. Shimizu, "Enhancement of magneto-optical effect in a GaAs:MnAs hybrid structure sandwiched by GaAs/AlAs distributed Bragg reflectors", JST CREST Symposium, Tokyo, October 26, 2000.
  84. M. Tanaka (Invited), "Epitaxial III-V Based Magnetic Heterostructures", Advanced Heterostructure Workshop 2000, Hawaii, December 3-8, 2000.
  85. M. Tanaka (Invited), "Formation and Magneto-Optical Properties of Semiconductor-Based Magneto-Photonic Multilayers", The 2000 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem 2000), Session 166 'The Chemistry of Inorganic Thin Film Formation', Honolulu, Hawaii, December 14 - 19, 2000.
  86. 田中雅明, "III-V族半導体をベースとしたエピタキシャル磁性ヘテロ構造", 日本応用磁気学会「磁性人工構造膜の物性と機能」第5回専門研究会, 2000年12月21日, 東京.
  87. H. Shimizu and M. Tanaka, "Enhancement of Magneto-optical Effect in III-V Semiconductor/Ferromagnet(MnAs) Hybrid Structures", 8th MMM-Intermag Joint Meeting, paper FE-04, San Antonio, January 7-11, 2001.
  88. Sugahara and M. Tanaka, "Atomic-scale surface morphology of epitaxial ferromagnetic MnAs on vicinal GaAs(111)B substrates", 8th MMM-Intermag Joint Meeting, paper AE-05, San Antonio, January 7-11, 2001.
  89. H. Saito, W. Zaets, Y. Mishima, M. Tanaka, R. Akimoto and K. Ando, "Magnetic and transport properties of a new III-V diluted magnetic semiconductor Ga<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>As", 8th MMM-Intermag Joint Meeting, paper FV-10, San Antonio, January 7-11, 2001.
  90. 土屋昌弘, 五十嵐浩司, 谷津亮介, 平健二, K. Y. Koay, 斎藤聰, 岸眞人, "半導体レーザパルスのSDPF高次ソリトン圧縮によるサブ100 fsパルス発生", 第1回超高速光エレクトロニクス研究会資料, 東京, p. 1, 2001年1月11日.
  91. 中野義昭, 加藤正樹, "新しい半導体光制御デバイス－デジタルフォトニクスを目指して", 電気・電子情報学術振興財団 第13回ワークショップ「発展する電子・光子機能制御研究」, 学士会館分館, pp. 49-56, 2001年1月22日.
  92. 霜垣幸浩, "極微細デバイス構造に対するCVD薄膜作成技術", 第13回電気電子情報学術振興財団ワークショップ, 2001年1月22日
  93. 田中雅明, "スピinn機能半導体材料の新展開と光デバイスへの応用", 電気電子情報学術振興財団, 科学技術振興事業団主催「発展する電子・光子機能制御研究」ワークショップ, 学士会館分館, 東京, 2001年1月22日.
  94. 土屋昌弘, P. P. Vasil'ev, 吉田剛, 岸眞人, 星田剛司, "集積型モード同期半導体レーザ", 第13回電気電子情報学術振興財団ワークショップ, 学士会館分館, 2001年1月22日.
  95. 山下真司, "光ネットワークのための波長変換器/波形形成器", 第13回電気電子情報学術

振興財団ワークショップ（学士会館分館、東京），2001年1月22日。

96. 中野義昭，“(招待講演) 半導体光波長変換デバイスの研究動向 (Progress of semiconductor optical wavelength conversion devices research)”，レーザー学会学術講演会第21回年次大会講演予稿集，東京国際フォーラム，30pXI1, pp. 190-191, 2001年1月30日。
97. 田中雅明，“磁性金属と半導体からなる複合構造の作製と物性およびその応用”，名古屋大学理工学総合研究センター学際共同研究シンポジウム「半導体／金属／絶縁体複合量子構造の作製と高次量子機能デバイスへの応用」，名古屋大学，2001年1月31日。
98. M. Tanaka (Invited), "Semiconductor Spintronic Materials and Devices: Current Status and Future Prospects", 2001 International Seminar at the Research Center for Interface Quantum Electronics, Hokkaido University, January 31- February 1, 2001.
99. Y. Ozeki, M. Kishi, and M. Tsuchiya, "Dual-Mode Optical MM-Wave PSK Signal Generation Technique for 60 GHz-Band Fiber-Radio Systems", The 2<sup>nd</sup> Korea-Japan Joint Workshop on Microwave-Photonics, Yonsei University, Seoul, Korea, February 2, 2001.
100. 田中雅明，“スピニ機能半導体材料の新展開と光・電子デバイスへの応用 - 半導体スピントロニクス-”，豊橋技術科学大学未来技術流動研究センター 特別講演会，豊橋技術科学大学，2001年2月28日。
101. H. Shimizu\* and M. Tanaka (\*Invited young scientist's presentation), "Enhanced magneto-optical effect in III-V semiconductor-based magneto-photonic crystals", Proc. of the 6th Int. Symp. on Advanced Physical Fields, Growth of Well-defined Nanostructures, Tsukuba, March 6-9, 2001.
102. 田中雅明, 清水大雅, "半導体ベース磁気光学結晶の形成とその磁気光学効果", 電気学会マグネティックス研究会「ナノスケール磁性構造体」, 2001年3月8日, 東北大学電気通信研究所。
103. 二口尚樹, 中野義昭, "選択MOVPE成長を用いた光能動・受動素子の集積化に関する研究", 平成12年度固体エレクトロニクス・オプトエレクトロニクス研究発表会, 東京大学生産技術研究所, pp. 10-17, 2001年3月14日。
104. 田中雅明, 清水大雅, 肥後豊, "III-V族化合物半導体ベースのエピタキシャル磁性ヘテロ構造", 電気学会会全国大会「ナノスケール磁性構造体-機能」のシンポジウム, 2001年3月21日～24日, 名古屋大学東山キャンパス。
105. 二口尚樹, 宋学良, 宮下大輔, 加藤正樹, 中野義昭, "Fabrication of SOA-Integrated Mach-Zehnder Interferometer Optical Switch by Selective Area MOVPE (MOVPE選択成長によるSOA集積マッハ・ツェンダ干渉計型光スイッチの試作)", 第48回応用物理学関係連合講演会, 明治大学, 30a-G-7, 2001年3月28日。
106. 加藤正樹, 中野義昭, "InGaAs/InP MQW-EA変調器における光誘起位相シフトの解析 (Analysis of photo-induced phase shift in InGaAs/InP MQW-EA modulator)", 第48回応用物理学関係連合講演会, 明治大学, 28a-YF-2, 2001年3月28日。
107. アブドゥッラー・アルアミン, 宋学良, 竹中充, 二口尚樹, 加藤正樹, 中野義昭, 鄭錫煥, 中津原克己, 水本哲弥, "能動/受動集積化に向けたInP系アレイ導波路格子合分波器の設計と試作", 第48回応用物理学関係連合講演会, 明治大学, 28p-YF-6, 2001年3月28日。
108. 山崎悦史, 若菜伸一, 岸眞人, 土屋昌弘, 岩波瑞樹, 星野茂樹, "光ファイバ端磁気光学プローブの空間分解能評価", 2001年電子情報通信学会総合大会, 立命館大学, 2001年3月26日。
109. 小関泰之, 岸眞人, 土屋昌弘, "マッハツェンダー型光変調器による60GHz帯2モード光ミリ波PSK信号生成法", 2001年電子情報通信学会総合大会, 立命館大学, 2001年3月28日。
110. 田中雅明, "強磁性半導体ヘテロ構造におけるトンネル磁気抵抗効果", 応用物理学会シンポジウム「半導体スピントロニクスの進展」2001年3月29日, 明治大学駿河台キャンパス。
111. 田中雅明, 肥後豊, B. Grandidier\*\*, J.P. Nys\*\*, C. Delerue\*\*, D. Stievenard, "GaMnAs/GaAs構造の原子スケール断面STM観察", 春季第47回応用物理学関連連合講演会 31aYE-2, 2001年3月, 明治大学駿河台キャンパス。
112. 清水大雅, 田中雅明, "半導体ベース1次元磁性フォトニック結晶の磁気光学特性の改善 (II)", 春季第47回応用物理学関連連合講演会 YE-1, 2001年3月, 明治大学駿河台キャンパス。
113. アーサンナズムル, 田中雅明, "MnをδドープしたGaAsの成長, 磁性, 伝導特性", 春季第47回応用物理学関連連合講演会 30aZB-8, 2001年3月, 明治大学駿河台キャンパス。
114. 大矢忍, 肥後豊, 清水大雅, 田中雅明, "InP基板上InGaMnAs層の作製と評価", 春季第47回応用物理学関連連合講演会 30aZB-10, 2001年3月, 明治大学駿河台キャンパス。
115. 中野貴之, 中野義昭, 霜垣幸浩, "MOVPEにおけるGaAs/InGaPヘテロ界面形成の動的エ

- リブソメトリ法によるその場観察(3)", 第48回春季応用物理学会学術講演会(明治大学), 30a-G-7, 2001年3月30日.
116. 高橋直樹, 小関泰之, 岸眞人, 土屋昌弘,, "光電ミキシング法による光ミリ波双方向リンク構成の簡素化", 2001年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 草津, B-5-260, p. 658/通信1, 2001年3月.
  117. 齊藤聰, 五十嵐浩司, 岸眞人, 土屋昌弘, "分散フラットファイバ内フェムト秒光パルス伝搬の数値解析", 2001年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 草津, C-4-12, p. 340/エレクトロニクス1, 2001年3月.
  118. 五十嵐浩司, 齊藤聰, 吉田睦, 岸眞人, 土屋昌弘, "分散平坦ファイバを用いたサブ20 fs光パルス圧縮", 第48回応用物理学関係連合講演会予稿集, 東京, 31a-Yb-5/III, p. 1093, 2001年3月31日.
  119. 執行真由, 小館香椎子, 若菜伸一, 山崎悦史, 岸眞人, 土屋昌弘, "誘電体反射膜光ファイバ端EOプローブの性能評価", 第48回応用物理学関係連合講演会予稿集, 東京, 28p-P3-7/III, p. 1002, 2001年3月31日.
  120. S. Yamashita and T. Baba, "Multiwavelength fiber lasers with tunable wavelength spacing", Conf. On Optical Fiber Communications (OFC2001), no.WA8, Mar. 2001.
  121. K. Torii and S. Yamashita, "Cancellation of spectral spread by pump frequency modulation in optical fiber wavelength converter", Conf. On Optical Fiber Communications (OFC2001), no.WW5, Mar. 2001.
  122. 山下真司, 那須悠介, "エキシマレーザによる任意形状アポダイズド光ファイバプラググレーティング作成," 2001年電子情報通信学会総合大会(立命館大学, 草津), no.C-3-20, 2001年3月.
  123. 馬場輝幸, 山下真司, "波長間隔可変多波長光ファイバレーザ, " 2001年電子情報通信学会総合大会(立命館大学, 草津), no.C-4-7, 2001年3月.
  124. 鳥居健一, 山下真司, "励起光の周波数変調による偏波無依存かつ高効率な光ファイバ波長変換器, " 2001年電子情報通信学会総合大会(立命館大学, 草津), no.B-10-96, 2001年3月.
  125. 山下真司, 林理恵, "モード同期光ファイバレーザによる光ファイバ波長分散測定" 2001年電子情報通信学会総合大会(立命館大学, 草津), no.B-13-18, 2001年3月.
  126. Xueliang Song, Naoki Futakuchi, Daisuke Miyashita, Masaki Kato, and Yoshiaki Nakano, "InGaAsP/InP monolithic SOA Mach-Zehnder interferometer optical switches fabricated entirely by selective area MOVPE", Proceedings of the Tenth European Conference on Integrated Optics (ECIO'01), WeA3.4, pp. 102-105, Paderborn, Germany, April 4-6, 2001
  127. 二口尚樹, 宋学良, 宮下大輔, 加藤正樹, 中野義昭, "MOVPE選択成長によるSOA集積マッハ・ツェンダ干渉計型全光スイッチ (SOA-Integrated Mach-Zehnder Interferometer All-Optical Switch by Selective Area MOVPE)", 電子情報通信学会技術研究報告(光スイッチング研究会), PS2001-8, pp. 39-44, 2001年4月27日.
  128. M. Tanaka (Invited), "Semiconductor Based Epitaxial Magnetic Heterostructures", 5th RIKEN International Conference on Coherent Control in Matter, Shonan International Village, April 22-25, 2001.
  129. M. Tanaka (Invited), "Epitaxial Magnetic Heterostructures Based on Semiconductors", International Workshop on Quantum Transport in Synthetic Metals & Quantum Functional Semiconductors (QTSM & QFS 2001), Seoul, Korea, May 8-11, 2001.
  130. Naoki Futakuchi, Xueliang Song, Daisuke Miyashita, Masaki Kato, and Yoshiaki Nakano, "Fabrication of InGaAsP/InP Mach-Zehnder interferometer optical amplifier switches by metalorganic vapor phase selective area epitaxy", Conference Proceedings, 13th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM '01), FB1-4, pp. 583-586, Nara, Japan, May 14-18, 2001.
  131. 二口尚樹, 宋学良, 宮下大輔, 加藤正樹, 中野義昭, "モノリシック光集積回路に向けたMOVPE選択成長技術と, その全光スイッチ回路への応用", 電子情報通信学会技術研究報告(光エレクトロニクス研究会), OPE2001-6, pp. 31-36, 2001年5月25日.
  132. S. Yamashita and K. Torii, "Polarization-independent, highly-efficient optical fiber wavelength converter," Conf. on Lasers and Electro-Optics (CLEO2001), no.CThB4, May 2001.
  133. S. Yamashita, K. Hsu and R. Hayashi, "Actively mode-locked miniature fiber Fabry-Perot laser (FFPL)," Conf. on Lasers and Electro-Optics (CLEO2001), no.CTuX2, May 2001.
  134. T. Kamiya, Y. Komai, K. Kodate, R. Hainberger, K. Igarashi and M. Tsuchiya: All-Optical Switching Module Suitable for Noise Suppressed Detection PPM Codes, CLEO/QELS 2001 Advance Program,

Baltimore, CWB4, p.130 (May 2001).

135. Masaki Kato and Yoshiaki Nakano, "Wavelength conversion using polarization dependence of photo-induced refractive index change in an MQW-EA modulator", Technical Digest, Topical Meeting on Integrated Photonics Research (IPR 2001), IMG5, pp. 91-93, Monterey, California, June 11-13, 2001.
136. 山崎悦史, 若菜伸一, 岸眞人, 岩波瑞樹, 星野茂樹, 土屋昌弘: ファラデー効果を利用する高周波磁界計測用光ファイバプローブの検討, 電子情報通信学会主催マイクロ波研究会「光技術によるマイクロ波・ミリ波信号発生とプロービング」予稿集, 沖縄, 信学技法Vol.101, No.137, MWP2001-43, OPE2001-30 (2001-06), pp.55-62 (June 2001).
137. 永妻忠夫, 土屋昌弘: 「光技術によるマイクロ波・ミリ波信号の発生とプロービング」 キーノート, 電子情報通信学会技術研究報告, 沖縄, 信学技法Vol. 101, No.137, MWP2001-38, OPE2001-25(2001-06), pp.27-28 (June 2001).
138. 鳥居健一, 山下真司, “位相／周波数同期変調によるスペクトル広がりのない高効率光ファイバ波長変換器,” 電子情報通信学会光通信システム研究会(OCS), no.OCS2001-36, June 2001.
139. M. Tanaka (Invited), "Semiconductor-Based Epitaxial Magnetic Heterostructures", International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT-2001), Symposium on Advanced Data Storage Materials, Singapore, July 1-6, 2001.
140. Masaki Kato and Yoshiaki Nakano, "Wavelength and material dependence of photo-induced phase shift in multiple-quantum-well electro-absorption modulators", Conference Proceedings, the Sixth Optoelectronics and Communications Conference (OECC 2001)/ the 13th International Conference on Integrated Optics and Optical Fiber Communication (IOOC 2001), THL6, pp. 591-592, Sydney, Australia, July 2-5, 2001.
141. S. Yamashita and J. Nishijima, "Gain and noise performances of a L-band erbium-doped fiber amplifier incorporating an inline C-band fiber grating laser," Int. Conf. on Integrated Optics and Optical Fiber Communications (IOOC/OECC2001), no.ThurK.2, Sydney, Australia, July 2001.
142. Y. Nasu and S. Yamashita, "Multiple-phase-shift superstructure fiber Bragg gratings (MPS-SSFBG's) for dense WDM systems," Int. Conf. on Integrated Optics and Optical Fiber Communications (IOOC/OECC2001), Postdeadline Paper, no.PDP1.06, Sydney, Australia, July 2001.
143. M. Tanaka (Invited), "III-V Based Magnetic Heterostructures for Spintronics", 10th Int. Conf. on Modulated Semiconductor Structures (MSS-10), paper ThE3, Linz, Austria, July 23-27, 2001.
144. 馬場輝幸, 山下真司, “波長間隔可変多波長光ファイバレーザ,” 電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会(OFT), no.OFT2001-21, Jul. 2001.
145. Takayuki Nakano, Yoshiaki Nakano, Yukihiro Shimogaki, "Optimization of InGaP/GaAs Interface Structure using Kinetic Ellipsometry in MOVPE", 13th Int. Conf. on Crystal growth (ICCG-13), paper 03a-SB1-05, Kyoto, Japan, July 31-August 4, 2001.
146. S. Sugahara, F. Yamagishi, and M. Tanaka, "Ferromagnet (MnAs)/semiconductor (GaAs, AlAs)/ferromagnet (MnAs) trilayer heterostructures on (111)B GaAs vicinal substrates: epitaxial growth and magnetic properties", 13th Int. Conf. on Crystal Growth and 11th Int. Conf. on Vapor Growth and Epitaxy (ICCG13/ICVGE11), paper 31a-S11-05, Kyoto, July 30 -August 4, 2001.
147. H. Shimizu and M. Tanaka, "Engineered Magneto-Optical Effect in Semiconductor-Based Magneto-Photonic Crystals", 13th Int. Conf. on Crystal Growth and 11th Int. Conf. on Vapor Growth and Epitaxy (ICCG13/ICVGE11), paper 31a-S11-07, Kyoto, July 30 -August 4, 2001.
148. Mitsuru Takenaka, Masumi Saito, and Yoshiaki Nakano, "Self-align electrode separation of directionally coupled semiconductor optical amplifier", Proceedings of SPIE, "Active and Passive Optical Components for WDM Communication," vol. 4532, pp. 361-368, Denver, August 21-24, 2001.
149. 山下真司, “光ファイバラッピンググレーティング(FBG)とその応用,” 第16回レーザー輸入振興協会(JIAL)セミナー, Aug. 2001.
150. 呉豪振, 加藤正樹, 中野義昭, 霜垣幸浩, “InGaAsPエピタキシャル成長3次元シミュレーション”, 化学工学会神奈川大会, 横浜, 2001年8月.
151. 福島康之、中野貴之、中野義昭、霜垣幸浩, “MOVPEによるGaAs/InGaPへテロ界面形成での分光エリプソメトリーのその場観察”, 2001年化学工学会「神奈川大会」、B207-A3-9、横浜国立大学、2001年9月8日-9日
152. 清水大雅、田中雅明, "GaMnAs超薄膜の磁気光学効果測定による量子化準位の検討", 2001年秋季第62回応用物理学会、11p-YA-5、愛知工業大学、2001年9月11日-14日
153. アーサン M. ナズムル、田中雅明, "MnデルタドープしたGaAsの成長と伝導特性(II)", 2001年秋季第62回応用物理学会、11p-YA-4、愛知工業大学、2001年9月11日-14日

154. 加藤正樹, 中野義昭, "MQW-EA変調器における光誘起屈折率変化の偏光依存性を用いた波長変換 (Wavelength conversion using polarization-dependence of photo-induced refractive index change in an MQW-EA modulator)", 第62回応用物理学会学術講演会(愛知工業大学), 13p-Y-13, 2001年9月13日.
155. 井上大介, 中野義昭, 鯉渕興二, "半導体レーザの温度依存性を低減するヒートシンク構造 (New heatsink structure for reduction of temperature dependence in semiconductor lasers)", 第62回応用物理学会学術講演会(愛知工業大学), 13a-B-6, 2001年9月13日.
156. 大塚節文, 中野義昭, "マストランスポートInAsP量子細線における光学特性のプロセスパラメータ依存性 (Process parameter dependence of optical characteristics in mass-transported InAsP quantum wires)", 第62回応用物理学会学術講演会(愛知工業大学), 13p-B-6, 2001年9月13日.
157. 竹中充, 中野義昭, "斜め蒸着による方向性結合器型半導体光増幅器の電極分離 (Self-align electrode separation of directionally coupled semiconductor optical amplifier)", 第62回応用物理学会学術講演会(愛知工業大学), 13p-Y-12, 2001年9月13日.
158. 岸眞人, 鬼頭大介, 河崎晋也, 土屋昌弘: 頭微ラマン分光法によるレーザダイオードの発光端面温度測定 III, 第62回応用物理学会学術講演会講演予稿集, 愛知, 13a-B-9/III, p.863 (September 2001).
159. 瀧田裕, 小関泰之, 岸眞人, 土屋昌弘: モード同期集積型半導体レーザを用いた光信号再生インバータ, 第62回応用物理学会学術講演会講演予稿集, 愛知, 13p-Y-18/III, p.914 (September 2001).
160. 五十嵐浩司, 齋藤聰, 岸眞人, 土屋昌弘: 短尺異常分散平坦化ファイバを用いるスーパーコンティニューム光発生, 2001年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集1, 東京, C-4-16, p.254 (September 2001) .
161. 那須悠介, 山下真司, "DWDMのための多点位相シフトスープーストラクチャファイバプラググレーティング," 2001年電子情報通信学会ソサイエティ大会, no.C-3-113, Sep. 2001.
162. 田中雅明,"スピントロニクスと分子線エピタキシー",第3回MBE懇談会、2001年9月14日-15日、豊田市猿投温泉
163. 中野義昭, "光スイッチングネットワークのためのアクティブ光デバイス", 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会(電気通信大学), パネル討論 波長資源と光スイッチング技術, PB-1-5, 2001年9月18日.
164. 田中雅明, "エピタキシャルIII-V族強磁性半導体ヘテロ構造とそのトンネル磁気抵抗効果", 第25回日本応用磁気学会学術講演会 シンポジウムS3「半導体スピネレクトロニクス」、2001年9月25日-28日
165. 斎藤秀和、Wadim Zaets、秋本良一、田中雅明、安藤功兒, "希薄磁性半導体(Ga,Cr)Asの伝導特性", 「半導体スピントロニクス」共同プロジェクト研究会、2001年9月28日-29日、東北大学電気通信研究所
166. 岩波瑞樹, 山崎悦史, 中野健, 須藤俊夫, 芳賀知, 星野茂樹, 若菜伸一, 岸眞人, 土屋昌弘: 磁気光学プローブによるテストL S Iパッケージ周辺ピン上の1D磁界分布測定,信学技報 Vol.101, No.274, EMCJ2001-51 (2001-08) , pp. 37-42 (September 2001) .
167. 菅原聰、田中雅明, "MnAs/AlAs/MnAs エピタキシャル三層構造の成長とトンネル磁気抵抗効果", 平成13年度・東北大学電気通信研究所・共同プロジェクト研究会「半導体表面におけるナノプロセスの量子科学」2001年10月12日～13日、仙台
168. S. Sugahara and M. Tanaka, "Epitaxial Growth and Tunneling Magnetoresistance of MnAs/AlAs/MnAs Trilayer Heterostructures", Symposium on Quantum Science of Nano-scale Processes on Semiconductor Surfaces, Sendai, October 12-13, 2001.
169. 田中雅明, "半導体スピネレクトロニクス", 日本応用磁気学会第121回研究会、第10回磁性人工構造膜の物性と機能専門研究会共催「スピネレクトロニクスの現状と将来展望」東京・機械振興会館、2001年10月23日
170. M. Tanaka, H. Shimizu, and J.M. Sun, "Artificial Magneto-Photonic Crystals Based on III-V Semiconductors and Their Application to Magnet-Optical Devices", The 2nd CREST Symposium on Function Evolution of Materials and Devices based on Electron/Photon Related Phenomena, Tokyo, October 25, 2001.
171. M. Tsuchiya, Y. Takita and M. Kishi: MIX-PI: photonic inverter based on a monolithic diode laser with injection locking and cross gain modulation effects employed, Program and Abstracts of The Second CREST Symposium on "Function Evolution of Materials and Devices based on Electron/Photon Related Phenomena", Tokyo, p.123 (October 2001).
172. Y. Nasu and S. Yamashita, "Fabrication of long superstructure fiber Bragg gratings (SSFBG's) using a novel scanning phase-mask technique," Micro-Optics Conference (MOC'01), no.K2, Oct. 2001.

173. 那須悠介, 山下真司, “DWDM用スーパーストラクチャーファイバーブラッググレーティングの新しい作製法—位相マスク走査法と多点位相シフト法—,” 電子情報通信学会光ファイバ応用技術研究会(OFT), no.OFT2001-43, Oct. 2001.
174. M. Tanaka (Invited), "III-V Based Epitaxial Magnetic Heterostructures", 15th International Vacuum Congress/ American Vacuum Society Meeting 48th International Symposium, San Francisco, October 29 - November 2, 2001.
175. Yoshiaki Nakano, "(Invited Paper) Semiconductor photonic devices for optical WDM and TDM communications", Optoelectronics, Materials, and Devices for Communications (Part of SPIE's Asia-Pacific Optical and Wireless Communications Conference, APOC'01), Paper 4580-05, Beijing, China, November 12-15, 2001.
176. S. Sugahara and M. Tanaka, "Fully epitaxial MnAs/AlAs/MnAs ferromagnetic tunnel junctions grown on vicinal GaAs(111)B substrates", 46th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, paper DB-12, Seattle, November 12-16, 2001.
177. A. M. Nazmul and M. Tanaka, "Mn delta-doped GaAs and effect of selective doping approach", 46th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, paper DC-01, Seattle, November 12-16, 2001.
178. H. Shimizu and M. Tanaka, "Quantum size effect and ferromagnetic ordering in ultrathin GaMnAs/AlAs heterostructures", 46th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, paper DC-03, Seattle, November 12-16, 2001.
179. S. Ohya, Y. Higo, H. Shimizu, J. M. Sun and M. Tanaka, "Growth and properties of quaternary alloy magnetic semiconductor (InGaMn)As", 46th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, paper DC-06, Seattle, November 12-16, 2001.
180. 中野義昭, "(招待講演) WDM用半導体光源デバイス・光制御デバイス", 日本セラミックス協会 第20回電子材料部会セミナー「光通信システムとセラミックス－DWDMにどう対応するかー」, pp. 13-20, 2001年11月21日.
181. E. Yamazaki, S. Wakana, M. Kishi and M. Tsuchiya: Three-Dimensional Magneto-Optic Near-Field Mapping over 10 - 50 mm-Scale Line and Space Circuit Patterns, The 14th Annual Meeting of the IEEE Lasers & Electro-Optics Society (LEOS 2001), San Diego, TuW6, pp.318-319 (November 2001).
182. 山下真司, 那須悠介, “光ファイバーブラッググレーティングの振幅位相制御,” 第82回微小光学研究会、vol. 19, pp. 29-34, Nov. 2001.
183. 田中雅明、清水大雅、孫甲明, "スピニ機能半導体材料と磁気光学デバイスへの応用", CREST 合同シンポジウム「光子機能制御研究のフロンティア」、名古屋大学、2001年12月7日-8日
184. 土屋昌弘, 五十嵐浩司, 瀧田裕, 岸真人: 「デジタルフォトニクスの要素技術: 新規SC光源とフォトニックインバータ」 科学技術振興事業団シンポジウム「光子機能制御研究のフロンティア」 戰略的基礎研究推進事業 研究領域「電子・光子等の機能制御」 関連プロジェクト 合同シンポジウム, 名古屋, pp.54-61 (December 2001).
185. 山下真司, 那須悠介, “DWDMのための新しい光ファイバグレーティング,” 戰略的基礎研究推進事業 研究領域「電子・光子等の機能制御」 関連プロジェクト 合同シンポジウム「光子機能制御研究のフロンティア」, pp. 28-34, Dec. 2001.
186. M. Tanaka (Invited), "Magnetic Heterostructures and Nanostructures for Spin Electronics", Int. Symp. on Artificial and Natural Nanostructures (ANN01), Rome, Italy, December 10-12, 2001.
187. 加藤正樹, 中野義昭, "MQW-EA変調器における光誘起屈折率変化を利用した全光デバイスの特性 (Device characteristics of all-optical device using photo-induced refractive index change in an MQW-EA modulator)", 電子情報通信学会技術研究報告(光スイッチング研究会, NS共催), PS2001-62, pp. 157-162, 2001年12月17-18日.
188. S. Ohya, H. Shimizu, Y. Higo, J. M. Sun and M. Tanaka, "Growth and properties of quaternary alloy magnetic semiconductor (InGaMn)As", The 7th Symposium on the Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASP-7), December 17-18, 2001, Tokyo Institute of Technology, Yokohama.
189. M. Tsuchiya: Device Technologies for Broadband Fiber-Radio Access Links, MWE 2001 Microwave Workshop Digest 2001 Microwave Workshops and Exhibition, Yokohama, pp.238-243 (December 2001).
190. Y. Takita, M. Kishi and M. Tsuchiya: Highly Sensitive and Compact All-Optical Inverter Employing a Dual-Mode Laser Diode, Technical Digest of International Topical Workshop on Contemporary Photonic Technologies (CPT2002), Tokyo, B-3, pp.27-28 (January 2002).
191. E. Yamazaki, S. Wakana, M. Kishi and M. Tsuchiya: Microscopic Three-Dimensional Mapping of

- Magnetic Field by Fiber-Edge Magneto-Optic Probe, The 3rd Japan-Korea Joint Workshop on Microwave & Millimeter-Wave Photonics, Tokyo, 3-7, pp.115-118 (January 2002).
192. Masaki Kato, Chaiyasit Kumtornkittikul, and Yoshiaki Nakano, "Wavelength conversion using polarization dependence of photo-induced phase shift in an InGaAsP MQW-EA modulator", Technical Digest, Conference on Optical Fiber Communication (OFC 2002), ThDD3, pp. 595-596, Anaheim, California, March 2002.
  193. Y. Takita, M. Kishi and M. Tsuchiya: Extremely abrupt uW-class all-optical inverter characteristics brought about with a single laser diode device of dual-modes, Technical Digest of International Topical Workshop on Optical Fiber Communication (OFC2002), Anaheim, ThGG78, pp.721-722 (March 2002).
  194. Xueliang Song, Daisuke Miyashita, and Yoshiaki Nakano, "Total reflection waveguide mirror for compact photonic integrated circuit -simulation and fabrication", 電子情報通信学会総合大会(早稲田大学)講演論文集, C-3-112, p. 244, 2002年3月26-29日.
  195. 井上大介, 中野義昭, "半導体レーザの温度特性を低減するヒートシンク構造(II) -実装法の改善 (New heatsink structure for reduction of temperature dependence of semiconductor lasers II -improved packaging)", 第49回応用物理学関係連合講演会(東海大学), 28a-YQ-21, 2002年3月28日.
  196. 宋学良, 宮下大輔, 中野義昭, "FDTD法による全反射型導波路ミラーの解析とその試作 (Simulation of total reflection waveguide mirror using FDTD method and its fabrication)", 第49回応用物理学関係連合講演会(東海大学), 29a-ZS-3, 2002年3月29日.
  197. 大塚節文, 中野義昭, "マストランスポートInAsP量子細線DFBレーザの室温連続発振 (Room temperature CW operation of mass-transported InAsP quantum wire DFB lasers)", 第49回応用物理学関係連合講演会(東海大学), 29a-YS-12, 2002年3月29日.
  198. 竹中充, 中野義昭, "方向性結合器型双安定レーザダイオードを用いた全光フリップ・フロップの提案 (Proposal of all-optical flip-flop using directionally coupled bistable laser diode)", 第49回応用物理学関係連合講演会(東海大学), 29p-ZS-11, 2002年3月29日.
  199. 加藤正樹, 金子慎, Chaiyasit Kumtornkittikul, 中野義昭, "MQW-EA 変調器における光誘起屈折率変化の偏光依存性を用いた波長変換(II) (Wavelength conversion using polarization-dependence of photo-induced refractive index change in an MQW-EA modulator II)", 第49回応用物理学関係連合講演会(東海大学), 29p-ZS-18, 2002年3月29日.
  200. 瀧田裕, 岸眞人, 土屋昌弘: 光注入2モードDFBレーザによるデジタル特性:全光インバータ動作と全光ラッチ機能, 第49回応用物理学関係連合講演会講演予稿集3, 東京, 29p-ZS-14,p.1189 (March 2002).
  201. 齊藤聰, 五十嵐浩司, 岸眞人, 土屋昌弘: サブ20 fs高次ソリトン圧縮のためのサブps光パルスEDF増幅過程についての一検討, 第49回応用物理学関係連合講演会講演予稿集3, 東京, 27p-ZE-3, p.1064 (March 2002).
  202. 山崎悦史, 朴賢大, 若菜伸一, 岸眞人, 土屋昌弘: 10GHz級磁気光学プローブの試作と応用, 2002年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 東京, C-14-2, p.355 (March 2002).
  203. 那須悠介, 山下真司, “種々のスーパーストラクチャ・ファイバ・グレーティングへの多点位相シフト法の応用,” 2002年電子情報通信学会総合大会, no.C-3-146, Mar. 2002.
  204. 山下真司, 林理恵, 才田隆史, “10GHz多波長能動モード同期光ファイバレーザ,” 2002年電子情報通信学会総合大会, no.C-4-38, Mar. 2002.
  205. 倉本敦史, 山下真司, “光注入同期現象を用いた全光型再生中継器における緩和振動の抑圧,” 2002年電子情報通信学会総合大会, no.B-10-169, Mar. 2002.
  206. 山下真司, 西島潤, “偏波維持光ファイバのモード結合を用いた可変光フィルタ,” 2002年電子情報通信学会総合大会, no.C-3-83, Mar. 2002.
  207. 倉本敦史, 山下真司, “サイドモード注入同期現象を用いた全光型再生中継器,” 電子情報通信学会光通信システム研究会(OCS), Apr. 2002.
  208. Nutchai Sroymadee, Masaki Kato, and Yoshiaki Nakano, "All-optical wavelength converter based on directional coupler with electro-absorption and exciton effect", Conference Proceedings, 14th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM '02), A7-3, pp. 471-474, Stockholm, Sweden, May 12-16, 2002.
  209. M. Tanaka (Invited), "Spin-dependent Transport and Tunneling in III-V Based Magnetic Heterostructures" The 8th IUMRS International Conference on Electronic Materials (IUMRS-ICEM2002), Xi-an, China, June 10-14, 2002.
  210. 田中雅明, "半導体スピニエレクトロニクスの可能性", 日本学術振興会「物質科学とシステムデザイン」「量子スピニエレクトロニクス」「有機分子エレクトロニクス」分科会合同委員

会, 国際高等研究所, 京都府木津町, 2002年6月21日-22日.

211. M. Tanaka (Invited), "Semiconductor-Based Magnetic Heterostructures for Spin Electronics", 2002 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD-2002), July 1-3, 2002 Hokkaido University, Sapporo, Japan
212. Daisuke Inoue and Yoshiaki Nakano, "Reduction of temperature dependence in semiconductor lasers with thermal strain induced by a bimetal heatsink", Technical Digest, the Seventh Optoelectronics and Communications Conference (OECC 2002), 10C1-4, pp. 140-141, Yokohama, July 8-12, 2002.
213. Takafumi Ohtsuka and Yoshiaki Nakano, "Ultra-low threshold (0.2mA) operation of 1.5  $\mu$ m mass-transported InAsP strained quantum wire distributed feedback lasers", Technical Digest, the Seventh Optoelectronics and Communications Conference (OECC 2002), 10C3-5, pp. 160-161, Yokohama, July 8-12, 2002.
214. K. Igarashi, S. Saito, M. Kishi and M. Tsuchiya: Fourth-Order Dispersion Effect on Generation of Flat and Broadband Super-Continuum in Anomalous-Dispersion-Flattened Fiber, Technical Digest of 7th OptoElectronics and Communications Conference (OECC2002), Yokohama, Japan, PD-2-3, pp. 21-22 (July 8-12, 2002).
215. S. Yamashita, "Optical fiber lasers and their applications (invited)," Optical Electronics and Communications Conf. (OECC'2002), no.12D3-1, July 2002.
216. S. Yamashita and R. Hayashi, "Multiwavelength, actively mode-locked fiber laser at 10GHz," Optical Electronics and Communications Conf. (OECC'2002), no.10P-45, July 2002.
217. A. Kuramoto and S. Yamashita, "All optical regeneration using a side-mode injection-locked semiconductor laser," Optical Electronics and Communications Conf. (OECC'2002), no.11C2-4, July 2002.
218. M. Iwanami, E. Yamazaki, K. Nakano, T. Sudo, S. Haga, S. Hoshino, S. Wakana, M. Kishi, and M. Tsuchiya: Magnetic Near-Field Distribution Measurements over LSI Package Pins by Magneto-Optic Probe, Proc. 2002 International Conference on Electromagnetic Compatibility, Bangkok, pp. 155-160, July, 2002.
219. Yoshiaki Nakano, "(Invited Paper) SOA-integrated Mach-Zehnder interferometer all-optical switch by selective area MOVPE", Technical Digest, Topical Meeting on Integrated Photonics Research (IPR 2002), IWC3, pp. 38-39, Vancouver, Canada, July 17-19, 2002.
220. Mitsuru Takenaka and Yoshiaki Nakano, "Numerical analysis of directionally coupled bistable laser diode by finite difference beam propagation method for all-optical flip-flop application", Technical Digest, International Topical Meeting on Photonics in Switching (PS'02), PS.TuB5, pp. 78-80, Cheju, Korea, July 21-25, 2002.
221. Ichitaro Waki, Chaiyasit Kumtornkittikul, Kentaro Sato, Yukihiko Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "Characterization of crack-free AlN/GaN multiple quantum wells grown by metal organic vapor phase epitaxy using H<sub>2</sub> as a carrier gas", Book of Abstracts, International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN 2002), Paper 368, p. 372, Aachen, Germany, July 22-25, 2002.
222. M. Tanaka (Invited), "Spin-polarized Tunneling in Fully Epitaxial Semiconductor-based Magnetic Tunnel Junctions", 2nd International Conference on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PAPSPS 2002), paper L1, Wuerzburg, Germany, July 23-26, 2002.
223. A. M. Nazmul, S. Sugahara, and M. Tanaka, "High Ferromagnetic Transition Temperature (172 K) in Mn-delta-doped GaAs with Selective p-type Doping", 2nd International Conference on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PAPSPS 2002), paper K4, Wuerzburg, Germany, July 23-26, 2002.
224. A.M. Nazmul, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Transport Properties and High Curie Temperature (172 K) of Mn-delta-doped GaAs with Selective p-type Doping", 26th International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS-26), paper E4.2, Edinburgh UK, July 29 - August 2, 2002.
225. M. Tsuchiya: Microwave Photonics, JAPAN NATIONAL COMMITTEE FOR RADIO SCIENCE REPORT 1989-2002 to the XXVIIth General Assembly International Union of Radio Science (U.R.S.I.), Maastricht, The Netherlands, RPT02, Commission D: Electronics and Photonics (D8), p.7 (August 17-24, 2002).
226. S. Ohya, H. Yamaguchi, and M. Tanaka, "Properties of Quaternary Alloy Ferromagnetic Semiconductor (InGaMn)As Grown on InP", 12th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, San Francisco, September 15-20, 2002.
227. A. M. Nazmul, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Structural and Transport Properties of Mn-delta-doped GaAs", 12th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, San Francisco, September 15-20, 2002.

228. 田中雅明, "エピタキシャル強磁性半導体ヘテロ接合におけるスピンドル依存伝導とトンネル磁気抵抗効果", 日本物理学会2002年秋季大会シンポジウム「強磁性体/半導体ヘテロ接合・界面における電子輸送」, 7pWA-4, 中部大学, 2002年9月6日-9日.
229. 中台慎二・日隈薰・及川哲・岸眞人・土屋昌弘: 光単側波帶変調器を用いる2モードQPSK信号生成法, 2002年電子情報通信学会ソサイエティ大会発表, 宮崎, C-14-3, p. 284 (September 10-13, 2002).
230. 谷理範, 山下真司, "同期位相変調を用いた高効率光ファイバ位相共役器による分散補償," 2002年電子情報通信学会ソサイエティ大会, no.B-10-125, Sep. 2002.
231. 田中雅明, 肥後豊, 菅原聰, "半導体をベースとしたエピタキシャル強磁性ヘテロ構造におけるトンネル磁気抵抗効果とその応用可能性", 第26回日本応用磁気学会学術講演会シンポジウムS2「超高密度磁気記録におけるヘッドの進展」, 19pB-7, 東京農工大学, 2002年9月17日-20日.
232. 清水大雅, 田中雅明, 中野義昭, "非相反損失を用いたTE モード対応半導体導波路型光アイソレータ (A TE mode semiconductor-waveguide-type optical isolator using non-reciprocal loss)", 第63回応用物理学会学術講演会(新潟大学), 24p-B-4, 2002年9月24日.
233. 脇一太郎, Chaiyosit Kumtornkittikul, 霜垣幸浩, 中野義昭, "AlN/GaN 超格子による転位密度の低減 (Reduction of dislocation density using AlN/GaN superlattices)", 第63回応用物理学会学術講演会(新潟大学), 24p-YH-7, 2002年9月24日.
234. 竹中充, 中野義昭, "方向性結合器双安定レーザ構造を有する半導体全光フリップ・フロップの実現 (Realization of a semiconductor all-optical flip-flop having a directionally coupled bistable laser structure)", 第63回応用物理学会学術講演会(新潟大学), 24p-B-14 2002年9月24日.
235. 宮下大輔, 宋学良, 張臻瑞, アブドゥラーアルアミン, 霜垣幸浩, 中野義昭, "半導体光アンプ集積デバイスのためのInGaAsP系選択MOVPE成長 (Selective area MOVPE growth for integration of semiconductor optical amplifiers)", 第63回応用物理学会学術講演会(新潟大学), 25p-A-3, 2002年9月25日.
236. ソイマディー・ナッタチャイ, 中野義昭, 加藤正樹, "電界吸収光非線型に基づく方向性結合器型全光波長変換デバイス (Directional coupler all-optical wavelength converter based on optical nonlinearity associated with electro-absorption)", 第63回応用物理学会学術講演会(新潟大学), 25p-A-11, 2002年9月25日.
237. Chaiyosit Kumtornkittikul, 脇一太郎, 霜垣幸浩, 中野義昭, "サブバンド間遷移応用に向けたAlN/GaN 多重量子井戸構造のMOVPE 成長 (MOVPE growth of AlN/GaN MQW structures for intersubband transition applications)", 第63回応用物理学会学術講演会(新潟大学), 25a-YH-9, 2002年9月25日.
238. ウィーラチャイ・アサワメーターパント, 中野義昭, "光誘起超格子無秩序化による $1.55\text{ }\mu\text{m}$ 帶 GC-DFB レーザの発振波長トリミング (Wavelength Trimming of  $1.55\text{ }\mu\text{m}$  GC-DFB Laser Using Photo-Induced Disordering of Superlattices)", 第63回応用物理学会学術講演会(新潟大学), 26p-A-13, 2002年9月26日.
239. 上田和彦, 清水大雅, 田中雅明, "GaAs/AlAs DBR と MnAs ナノクラスターを含む半導体積層構造の設計及び磁気光学物性", 第26回日本応用磁気学会学術講演会, 17aF-7, 東京農工大学, 2002年9月17日-20日.
240. 上田和彦, 清水大雅, 田中雅明, "大きな反射磁気光学効果を有するIII-V族半導体積層構造の設計と作製", 2002年秋季第63回応用物理学会, 26pZA-13, 新潟大学, 2002年9月24日-27日.
241. アーサン・ナズムル, 田中雅明, "MnデルタドープGaAsをベースとしたヘテロ構造における高い強磁性転移温度( $\sim 172\text{K}$ )", 2002年秋季第63回応用物理学会, 26pZA-14, 新潟大学, 2002年9月24日-27日.
242. 大矢忍, 田中雅明, "4元混晶半導体(InGaMn)Asを用いた強磁性トンネル接合の作製と評価", 2002年秋季第63回応用物理学会, 26pZA-15, 新潟大学, 2002年9月24日-27日.
243. 五十嵐浩司・吉田睦・齊藤聰・岸眞人・土屋昌弘: 4次分散による異常分散帯域制限とサブ20fsDFFソリトン圧縮に対する影響, 第63回応用物理学会学術講演会発表, 新潟, 27a-YA-7/III, p. 949 (September 24-27, 2002).
244. Mitsuru Takenaka and Yoshiaki Nakano, "Realization of all-optical flip-flop using bistable laser diode with nonlinear directional coupler", Conference Digest, 18th IEEE International Semiconductor Laser Conference, WA7, pp. 121-122, Garmisch-Partenkirchen, Germany, September 29-October 3, 2002.
245. 竹中充, 中野義昭, "方向性結合器を有する双安定性半導体レーザによる全光フリップ・フロップの実現 (Realization of a semiconductor all-optical flip-flop by a directionally coupled bistable laser diode)", 電子情報通信学会技術研究報告(フォトニックネットワークをベースとするインターネット技術研究会), PNI2002-16, pp. 23-27, 2002年10月24日.

246. M. Tanaka, H. Shimizu, S. Ohya and J-M. Sun, "Artificial Magneto-Photonic Crystals Based on III-V Semiconductors and Their Application to Magnet-Optical Devices", The 3rd CREST Symposium on Function Evolution of Materials and Devices based on Electron/Photon Related Phenomena, Tokyo, October 25, 2002.
247. M. Tsuchiya, K. Igarashi, S. Saito and M. Kishi: Fiber-Optic Soliton Pulse Generation in the Sub-20 fs Regime, Program and Abstracts of The Third CREST Symposium on "Function Evolution of Materials and Devices based on Electron / Photon Related Phenomena", Tokyo, Japan, p. 109 (October 25, 2002).
248. 田中雅明, "強磁性半導体ヘテロ接合におけるスピニ依存伝導", 日本学術振興会162委員会第32回研究会「スピニエレクトロニクス材料の研究開発動向」, 長岡技術科学大学, 2002年10月25日-26日。
249. E. Yamazaki, H. Park, S. Wakana, M. Kishi and M. Tsuchiya: Fabrication of Broad-Band Fiber-Optic Magnetic Field Probe and its Application to Intensity and Phase Distribution Measurements of GHz-Frequency Magnetic Field, Technical Digest of 2002 International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP2002), Awaji, Japan, T1-2, pp.77-80 (November 5-8, 2002).
250. S. Nakadai, K. Higuma, S. Oikawa, M. Kishi and M. Tsuchiya: Synthesis of Orthogonal Dual-Mode Optical BPSK Signals by a Monolithic LiNbO<sub>3</sub> Modulator, Technical Digest of 2002 International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP2002), Awaji, Japan, T2-5, pp.109-112 (November 5-8, 2002).
251. Nobuo Haneji, Goh Segami, Tatsuya Suzuki, Taro Arakawa, Kunio Tada, Yukihiro Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "Electron cyclotron resonance reactive ion etching of III-V semiconductors by cyclic injection of CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar and O<sub>2</sub>", Digest of Papers, International Microprocesses and Nanotechnology Conference, 7B-5-2, pp. 70-71, Tokyo, Japan, November 6-8, 2002.
252. Weerachai Asawamethapant and Yoshiaki Nakano, "Proposal of wavelength trimming of 1.55 μm GC-DFB laser using photoabsorption-induced disordering of superlattices", Conference Proceedings, IEEE Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting (LEOS 2002), vol. 2, ThS5, pp. 797-798, Glasgow, Scotland, November 10-14, 2002.
253. A. M. Nazmul, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Large Magnetoresistance (41%) in Mn d-doped GaAs with Selective p-type Doping", 47th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Tampa, November 11-15, 2002.
254. S. Yamashita, "Superstructure fiber Bragg gratins (SSFBG) for WDM systems (invited)," First International Conference Optical Communications and Networks (ICOON'2002), Nov. 2002.
255. M. Tanaka (Invited), "High Ferromagnetic Transition Temperature (172K) in Mn-delta-doped GaAs Heterostructures with p-type Selective Doping", 10th International Advanced Heterostructure Workshop, the Big Island of Hawaii, December 1-6, 2002.
256. 田中雅明, "スピニ機能半導体材料とその応用—半導体スピニトロニクスへの展開ー", レーザーライアンスシンポジウム, 東京大学山上会館, 2002年12月18日。
257. Ahsan M. Nazmul, S. Kobayashi, S. Sugahara, and M. Tanaka (invited paper), "Mn delta-doped-GaAs-based Magnetic Heterostructures: Magneto-transport Properties and the Effect of Light Irradiation", 8th Symposium on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-8), paper H-4, pp.267-270, Sendai, December 19-20, 2002.
258. T. Ogawa, Y. Shuto, K. Ueda, H. Shimizu, and M. Tanaka, "Light-Induced Change in the Magnetic Circular Dichroism of GaAs:MnAs Granular Films", 8th Symposium on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-8), paper F10, pp.234-237, Sendai, December 19-20, 2002.
259. S. Ohya, H. Kobayashi, and M. Tanaka, "Magnetic Properties of Heavily Mn-doped Quaternary Alloy Ferromagnetic Semiconductor (InGaMn)As Grown on InP", 8th Symposium on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-8), paper D8, pp.138-141, Sendai, December 19-20, 2002.
260. K. Ueda, H. Shimizu, and M. Tanaka, "Design, Fabrication, and Large Magneto-optical Effect of Multilayer Structures Containing GaAs/AlAs DBR and MnAs Nanoclusters", 8th Symposium on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-8), paper F9, pp.230-233, Sendai, December 19-20, 2002.
261. 岡林潤, 水口将輝, 小野寛太, 尾嶋正治, 清水大雅, 田中雅明, "MnAsナノクラスターの内殻磁気二色性", 2003年放射光学会, 2003年1月9日-11日, 姫路
262. 小川智之, 田中雅明, "GaAs:MnAsグラニュラー構造の磁気光学効果と光照射の影響", 電気学会マグネティックス研究会, 東北大学電気通信研究所, 2003年1月15日-16日.

263. Saito, M. Kishi and M. Tsuchiya: Wideband wavelength tunable pulse source for S and E band based on fibre optic parametric oscillator, Technical Digest of International Topical Workshop on Contemporary Photonic Technologies (CPT2003), Tokyo, Japan, F-3, pp.99-100 (January 15-17, 2003).
264. S. Mitani, E. Yamazaki, M. Kishi and M. Tsuchiya: Sensitivity investigation of optical probing system based on fast photo-detector and its over 40 dB improvement via optical pre-amplification, Technical Digest of International Topical Workshop on Contemporary Photonic Technologies (CPT2003), Tokyo, Japan, PDP-4, p.4 (January 15-17, 2003).
265. 宮下大輔, 宋学良, 張臻瑞, 二口尚樹, 中野義昭, "MOVPE選択成長によるSOA・位相変調器集積干渉計型全光スイッチの試作と評価 (Fabrication and characterization of SOA/phase-modulator-integrated interferometer all-optical switch by selective area MOVPE)", 電子情報通信学会技術研究報告(光スイッチング研究会, OPE, LQE, OFT共催), PS2002-97, pp. 73-76, 2003年1月23-24日。
266. 田中雅明 (招待講演), "スピニエレクトロニクス研究の現状と展望", 第1回ナノテクノロジー総合シンポジウム, 東京有明, 2003年2月3日~2月4日。
267. アーサン M. ナズムル, 田中雅明, "半導体スピントロニクス・ヘテロ構造材料の進展 : Mn デルタドープ半導体ヘテロ構造における強磁性秩序とキュリー温度の高温化", 第1回ナノテクノロジー総合シンポジウム, 東京有明, 2003年2月3日~2月4日。
268. 田中雅明, "半導体スピニエレクトロニクスの現状と展望", 日本学術振興会「未踏ナノデバイス技術」第151委員会「シリコン超集積化システム」第165委員会合同研究会, 伊東, 2003年2月28日-3月1日。
269. M. Tanaka (Invited), "Spin tunneling and magnetotransport in GaMnAs-based heterostructures", Annual American Physical Society (APS) March Meeting 2003, paper S7.004, Austin, USA, March 3-7, 2003.
270. A. M. Nazmul, S. Kobayashi, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Ferromagnetic heterostructures with Mn delta-doped GaAs: The effect of light irradiation", Annual American Physical Society (APS) March Meeting 2003, paper Y24.001, Austin, USA, March 3-7, 2003.
271. T. Ogawa, Y. Shuto, K. Ueda, H. Shimizu, and M. Tanaka, "Photo-Induced Magnetic Interaction in GaAs:MnAs Hybrid Structure", Annual American Physical Society (APS) March Meeting 2003, paper Y24.002, Austin, USA, March 3-7, 2003.
272. M. Tanaka (Invited), "Ferromagnetic heterostructures for spin-electronics", Sweden-Japan Nanotechnology Colloquium, Lund, Sweden, March 16-18, 2003.
273. M. Tanaka (Invited), "Nanotechnology research in Japan", Sweden-Japan Nanotechnology Colloquium, Lund, Sweden, March 16-18, 2003.
274. 齊藤聰・岸眞人・土屋昌弘: 分散平坦化ファイバを用いる同期励起パラメトリック発振器, 2003年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 仙台, C-4-28, p. 314 (March 19-22, 2003).
275. 中台慎二・岸眞人・土屋昌弘: 2モード光ミリ波BPSK信号受光時におけるスペクトル拡大抑圧法, 2003年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 仙台, C-14-2, p. 333 (March 19-22, 2003).
276. 佐藤孝洋・山崎悦史・岸眞人・土屋昌弘: BSL逆解析法による近傍磁界分布からの微細回路電流分布推定, 2003年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 仙台, C-14-15, p. 346 (March 19-22, 2003).
277. 佐藤孝洋・山崎悦史・岸眞人・土屋昌弘: 近傍磁界プロービングにおける電流分布推定の空間分解能に関する一提案, 2003年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 仙台, C-14-16, p. 347 (March 19-22, 2003).
278. 三谷俊輔・山崎悦史・岸眞人・土屋昌弘: 前置光増幅器による光プローブシステムの感度改善, 2003年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 仙台, 2003年3月19~22日, C-14-17, p. 348 (March 19-22, 2003).
279. 土屋昌弘・山崎悦史・若菜伸一・岸眞人・岩波瑞樹・星野茂樹: 高速・高空間分解能特性を有する光ファイバ端磁気光学プローブ, 2003年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 仙台, SB-2-4, pp. s-29~s-30 (March 19-22, 2003).
280. 土屋昌弘・五十嵐浩司・齊藤聰・岸眞人: 超広帯域電磁波発生に向けた新型光源技術, 2003年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 仙台, SC-11-5, pp. s-96~s-97 (March 19-22, 2003).
281. 岩波瑞樹・星野茂樹・岸眞人・土屋昌弘: 光ファイバ端磁気光学プローブによる微細配線上の磁界分布計測, 2003年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 仙台, B-4-69, p. 436 (March 19-22, 2003).
282. 山下真司, 林理恵, 才田隆史, “10GHz多波長能動モード同期偏波保持光ファイバレーザ,”

- 2003年電子情報通信学会総合大会, no.C-4-45, Mar. 2003.
283. 山下真司, 横大路宗生, “可変多点位相シフトスーパーストラクチャFBGの実現,” 2003年電子情報通信学会総合大会, no.C-3-130, Mar. 2003.
  284. 山下真司, 柏木謙, “UV光照射による光導波路の作製,” 2003年電子情報通信学会総合大会, no.C-3-76, Mar. 2003.
  285. 谷理範, 山下真司, “同期変調法による高効率光ファイバ四光波混合の単一位相変調器による実現,” 2003年電子情報通信学会総合大会, no.B-10-52, Mar. 2003.
  286. 山下真司, 西島潤, “可変光ファイバ機能回路によるインターリーブフィルタの実現,” 2003年電子情報通信学会総合大会, no.C-3-55, Mar. 2003.
  287. 山下真司, 鈴木順, “ファブリーペローLDの2モード注入同期を用いた全光型2R中継器,” 2003年電子情報通信学会総合大会, no.B-10-45, Mar. 2003.
  288. Weerachai Asawamethapant and Yoshiaki Nakano, "Fabrication and wavelength adjustment of a WDM gain-coupled DFB laser array with a superlattice trimming layer", Technical Digest, Conference on Optical Fiber Communication (OFC '03), TuG2, pp. 184-185, Atlanta, Georgia, March 23-28, 2003.
  289. S. Saito, M. Kishi and M. Tsuchiya: 1415-1505 nm quasi-continuously tunable pulse source based on fiber-optic parametric oscillation, presented in the 2003 Optical Fiber Communication Conference (OFC2003).
  290. R. Hayashi, S. Yamashita and T. Saida, "Multiwavelength, actively mode-locked polarization-maintaining fiber laser at 10GHz," Optical Fiber Communications (OFC2003), no.TuL6, Mar. 2003.
  291. M. Tani and S. Yamashita, "Dispersion compensation with an SBS-suppressed fiber phase conjugator using synchronized phase modulation," Optical Fiber Communications (OFC2003), no.FK4, Mar. 2003.
  292. 呉豪振, 林益台, 杉山正和, 中野義昭, 霜垣幸浩, "選択成長の製膜速度分布解析を用いたInGaAsP系MOCVD表面反応機構の検討", 化学工学会第68年会 講演要旨集(東京大学), C301, 2003年3月23-25日.
  293. 林益台, 吳豪振, 杉山正和, 中野義昭, 霜垣幸浩, "Numerical study on the effects of heat transfer to the film growth behavior for a InGaAsP MOCVD process", 化学工学会第68年会 講演要旨集(東京大学), C306, 2003年3月23-25日.
  294. 田中雅明, "強磁性半導体ヘテロ構造", 電気学会ナノスケール磁性構造体調査専門委員会「スピントロニクスの現状」, 東京有楽町, 2003年3月25日.
  295. ウィーラチャイ・アサワメーターパント, 中野義昭, "LD発振波長トリミングに向けたパルスYAGレーザによるInGaAsP超格子無秩序化プロセス (Pulsed YAG laser disordering of InGaAsP superlattices for oscillation wavelength trimming in laser diodes)", 第50回応用物理学関係連合講演会(神奈川大学), 28a-ZQ-6, 2003年3月28日.
  296. ウィーラチャイ・アサワメーターパント, 中野義昭, "光誘起超格子無秩序化による1.55 μm帯5波長GC-DFBレーザアレイの発振波長トリミング (Wavelength trimming of 1.55 μm five-channel GC-DFB laser array using photo-induced disordering of superlattice)", 第50回応用物理学関係連合講演会(神奈川大学), 28a-ZQ-7, 2003年3月28日.
  297. 脇一太郎, チャイヤスィット・カムトーンキッティクル, 霜垣幸浩, 中野義昭, "MOVPE成長Al(Ga)N/GaN多重量子井戸における最短波長(1.68 μm)サブバンド間遷移の観測 (Achievement of shortest intersubband transition wavelength (1.68 μm) in MOVPE-grown Al(Ga)N/GaN MQW systems)", 第50回応用物理学関係連合講演会(神奈川大学), 29p-V-9, 2003年3月29日.
  298. 宮下大輔, 宋学良, 張臻瑞, 二口尚樹, 中野義昭, "SOA・位相変調器集積干渉計型全光スイッチのMOVPE選択成長による試作 (Fabrication of SOA/phase-shifter-integrated interferometer all optical switches by selective area MOVPE)", 第50回応用物理学関係連合講演会(神奈川大学), 29a-ZK-35, 2003年3月29日.
  299. 宋学良, 宮下大輔, 張臻瑞, 二口尚樹, イット・フーチヨン, 中野義昭, "InP系ハイ・メサ導波路SOA-MZI小型全光スイッチの作製と評価 (Fabrication and characterization of InP-based high-mesa waveguide SOA-MZI compact all-optical switches)", 第50回応用物理学関係連合講演会(神奈川大学), 29a-ZK-34, 2003年3月29日.
  300. チャイヤスィット・カムトーンキッティクル, 脇一太郎, 霜垣幸浩, 中野義昭, "MOVPE成長AlN/GaN多重量子井戸におけるサブバンド間吸収の量子井戸及び障壁幅依存性 (Well and barrier width dependence of intersubband absorption in AlN/GaN MQWs grown by MOVPE)", 第50回応用物理学関係連合講演会(神奈川大学), 29a-ZK-5, 2003年3月29日.

301. イット・フーチョン, 竹中充, 宋学良, 中野義昭, "方向性結合双安定半導体レーザに基づく全光フリップ-フロップの動特性評価 (Dynamic characteristics of an all-optical flip-flop based on directionally-coupled bistable semiconductor lasers)", 第50回応用物理学関係連合講演会(神奈川大学), 29a-ZK-20, 2003年3月29日.
302. ソイマディー・ナッタチャイ, 中野義昭, "電界吸収光非線型に基づく方向性結合器型全光波長変換デバイス(II) -試作と評価 (Directional coupler all-optical wavelength converter based on electro-absorption optical nonlinearity (II) -fabrication and characterization)", 第50回応用物理学関係連合講演会(神奈川大学), 29a-ZK-33, 2003年3月29日.
303. 福島康之, 中野義昭, 霜垣幸浩, "MOVPE 成長によるInGaP/GaAsへテロ構造の表面偏析と自然超格子の関係 (The relation of surface segregation and ordering state of InGaP/GaAs hetero structure grown by MOVPE)", 第50回応用物理学関係連合講演会(神奈川大学), 28p-YA-1, 2003年3月28日.
304. 呉豪振, 宋学良, 杉山正和, 中野義昭, 霜垣幸浩, "GaAsの選択MOCVD に伴うSiO<sub>2</sub> マスク上の核発生 : 気相濃度分布の効果 (Appearance of polycrystalline on the dielectric mask during GaAs MOCVD selective area growth: effect of gas-phase concentration profile)", 第50回応用物理学関係連合講演会(神奈川大学), 28p-YA-8, 2003年3月28日.
305. 呉豪振, 林益台, 杉山正和, 中野義昭, 霜垣幸浩, "マルチスケール解析を用いたInP/GaAs系 MOCVD表面反応研究 (Extracting kinetic data on surface reactions in InP/GaAs MOCVD by multi-scale analysis)", 第50回応用物理学関係連合講演会(神奈川大学), 28p-YA-5, 2003年3月28日.
306. 田中雅明, アーサン・ナズムル, "MnデルタドープGaAsとそのヘテロ構造における強磁性", 2003年春季第50回応用物理学関連連合講演会シンポジウム「スピニ物性の制御はどこまで可能になったか?」 28p-ZH-6, 神奈川大学, 2003年3月27日-30日.
307. 小川智之, 周藤悠介, 上田和彦, 田中雅明, "GaAs:MnAsグラニュラー薄膜における光照射下の磁気特性", 2003年春季第50回応用物理学関連連合講演会, 29p-ZH-4, 神奈川大学, 2003年3月27日-30日.
308. 上田和彦, 小川智之, 清水大雅, 田中雅明, "GaAs:MnAsグラニュラー薄膜を有する半導体ベース多層構造における磁気光学効果", 2003年春季第50回応用物理学関連連合講演会, 29p-ZH-5, 神奈川大学, 2003年3月27日-30日.
309. アーサンナズムル, 小林茂樹, 菅原聰, 田中雅明, "MnデルタドープGaAsをベースとした半導体ヘテロ構造における光照射による影響", 2003年春季第50回応用物理学関連連合講演会, 神奈川大学, 29p-ZH-6, 2003年3月27日-30日.
310. 大矢忍, 小林秀央, 田中雅明, "高濃度にMnをドープしたInP基板上四元混晶強磁性半導体(InGaMn)Asの磁気特性", 2003年春季第50回応用物理学関連連合講演会, 神奈川大学, 29p-ZH-7, 2003年3月27日-30日.
311. 岡林潤, 水口将輝, 尾嶋正治, 由利正忠, C.T. Chen, 清水大雅, 田中雅明, "MnAsナノクラスターの内殻磁気円二色性", 2003年春季第50回応用物理学関連連合講演会, 29p-ZH-10, 神奈川大学, 2003年3月27日-30日.
312. 五十嵐考俊, 岸眞人, 土屋昌弘, 片寄淳, 大内雅之, 菅原宏治: PLD法と窒素雰囲気アニール処理による $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>ドロップレットの低温生成, 第50回応用物理学関係連合講演会, 横浜, 29a-ZD-8/III, p. 1445 (March 27-30, 2003).
313. 片寄淳, 大内雅之, 菅原宏治, 五十嵐考俊, 岸眞人, 土屋昌弘: FeターゲットPLD膜の熱処理による $\beta$ -FeSi<sub>2</sub>の形成, 第50回応用物理学関係連合講演会, 横浜, 29a-ZD-9/III, p. 1445 (March 27-30, 2003).
314. 小川智之, 周藤悠介, 上田和彦, 田中雅明, "光照射時のGaAs:MnAsグラニュラー薄膜の磁気特性", 日本物理学会第58回年次大会, 東北大学, 2003年3月28日-31日.
315. Xueliang Song, Daisuke Miyashita, Zhenrui Zhang, Naoki Futakuchi, and Yoshiaki Nakano, "InGaAsP/InP compact monolithic SOA-integrated Mach-Zehnder interferometer all-optical switches by single-step selective-area MOVPE and their switching performance", Proceedings of the 11th European Conference on Integrated Optics (ECIO '03), vol. 1, ThB3.1, pp.187-190, Prague, Czech Republic, April 2-4, 2003.
316. Mitsuru Takenaka and Yoshiaki Nakano, "Proposal of an all-optical flip-flop using a cross-coupled MMI bistable laser diode", Proceedings of the 11th European Conference on Integrated Optics (ECIO '03), vol. 1, FrA1.5, pp. 335-338, Prague, Czech Republic, April 2-4, 2003.
317. M. Tanaka, "Spintronics Research and the Future", Sweden-Japan Workshop on Research Environment and Career, Nikkoh, April 8-9, 2003.
318. M. Iwanami, S. Hoshino, M. Kishi and M. Tsuchiya: Magnetic Near-Field Distribution Measurements

over Fine Meander Circuit Patterns by Fiber-Optic Magneto-Optic Probe, Technical Digest of The 2003 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC2003), Turkey, May 11-16, 2003

319. Daisuke Miyashita, Xueliang Song, Zhenrui Zhang, Naoki Futakuchi, and Yoshiaki Nakano, "Fabrication and characterization of SOA and phase shifter integrated interferometer all-optical switches by single-step GaInAsP/InP selective area MOVPE", Conference Proceedings, 15th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM '03), WB2.5, pp. 300-303, Santa Barbara, California, May 12-16, 2003.
320. Weerachai Asawamethapant and Yoshiaki Nakano, "Pulsed YAG-laser disordering of InGaAsP superlattices and its application to wavelength trimming of multi-lambda gain-coupled DFB laser arrays ", Conference Proceedings, 15th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM '03), ThB1.4, pp. 347-350, Santa Barbara, California, May 12-16, 2003.
321. Ichitaro Waki, Chaiyasit Kumtornkittikul, Yukihiko Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "Achievement of shortest intersubband transition wavelength (1.68  $\mu$ m) in MOVPE-grown Al(Ga)N/GaN MQW systems", Technical Digest, 5th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS), Tu-B2.5, p. 84, Nara, Japan, May 25-30, 2003.
322. M. Tanaka (Invited), "Spin tunneling and transport in ferromagnetic III-V heterostructures", 32nd International School on the Physics of Semiconducting Compounds, Ustron-Jaszowiec, Poland, May 31-June 6, 2003.
323. 林理恵, 山下真司, 才田隆史, "10GHz多波長能動モード同期偏波保持光ファイバレーザ," 電子情報通信学会レーザ・量子エレクトロニクス研究会(LQE), no.LQE2003-14, May 2003.
324. 西島潤, 山下真司, "偏波維持光ファイバのモード結合を利用した可変光波機能回路," 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会(OPE), no.OPE2003-18, May 2003.
325. M. Tanaka, "Hybrid ferromagnet/semiconductor structures", Panel discussion on ferromagnetic semiconductors, 32nd International School on the Physics of Semiconducting Compounds, Ustron-Jaszowiec, Poland, May 31-June 6, 2003.
326. Weerachai Asawamethapant and Yoshiaki Nakano, "Wavelength trimming of a 1.55  $\mu$ m five-channel gain-coupled DFB laser array by pulse-laser disordering of a superlattice tuning layer", Technical Digest, Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO 2003), CThW7, Baltimore, Maryland, June 1-6, 2003.
327. Nutchai Sroymadee and Yoshiaki Nakano, "Fabrication of all-optical wavelength converter based on electro-absorption nonlinear directional coupler", Technical Digest, Topical Meeting on Integrated Photonics Research (IPR 2003), IMB2, pp. 9-11, Washington, DC, June 16-18, 2003.
328. 菅原聰, 田中雅明, "半導体スピントロニクスの最前線", 日本学術振興会 薄膜第131委員会研究会, 東北大, 2003年6月20日
329. S. Yamashita and J. Suzuki, "All-optical 2R regeneration using a two-mode injection-locked Fabry-Perot LD," Conference on Lasers and Electro Optics (CLEO 2003), no.CFD2, June 2003.
330. S. Y. Set, H. Yaguchi, Y. Tanaka, M. Jablonski, Y. Sakakibara, M. Tokumoto H. Kataura, Y. Achiba, S. Yamashita, K. Kikuchi, "A dual-regime mode-locked/Q-switched laser using a saturable absorber incorporating carbon nanotube," Conference on Lasers and Electro Optics (CLEO 2003), Postdeadline Paper, no.CThPDA9, June 2003.
331. Chaiyasit Kumtornkittikul, Ichitaro Waki, Yukihiko Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "Experimental and theoretical study of intersubband absorption in MOVPE-grown Al(Ga)N/GaN multiple quantum wells", Extended Abstracts of the 22nd Electronic Materials Symposium, H9, pp. 267-268, Biwako, Shiga, July 2-4, 2003.
332. Ichitaro Waki, Chaiyasit Kumtornkittikul, Yukihiko Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "Near-infrared intersubband absorption in Al(Ga)N/GaN multiple quantum wells grown by MOVPE", Extended Abstracts of the 22nd Electronic Materials Symposium, H8, pp. 265-266, Biwako, Shiga, July 2-4, 2003.
333. T. Ide, G. Segami, N. Haneji, T. Arakawa, K. Tada, Y. Shimogaki, and Y. Nakano, "Electron cyclotron resonance reactive ion etching of InGaAs/InAlAs/InP multilayer structure and GaN by cyclic injection of CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar and O<sub>2</sub> with constant Ar flow", Extended Abstracts of the 22nd Electronic Materials Symposium, B10, Shiga, July 2-4, 2003, pp.27-30 (2003).
334. M. Tanaka (Invited), "Ferromagnetic heterostructures for semiconductor spintronics", Japan-US Workshop on Frontiers of Nanoscale Science and Technology, Komaba, University of Tokyo, July 10-12, 2003.
335. A. M. Nazmul, S. Kobayashi, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Control of Ferromagnetism in Mn

- Delta-doped GaAs-based Heterostructures", 11th Int. Conf. on Modulated Semiconductor Structures, paper G2, Nara, July 14-18 (2003).
336. M. Tanaka, S. Sugahara, and A.M. Nazmul (Invited), "Ferromagnetic Heterostructures based on Semiconductors", 2003 Summer Conference of the Korean Magnetics Society and Japan-Korea Symposium on Spintronics and its Applications, July 19-21, 2003, Hanwha Resort at Haewondae Beach, Busan, Korea.
337. Masakazu Sugiyama, Ho-jin Oh, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "Polycrystals growth on dielectric masks during InP/GaAs selective area MOVPE", Proceedings of the 11th Biennial Workshop on OMVPE, Paper 788, Colorado, July 20-24, 2003.
338. M. Tani and S. Yamashita, "Optical fiber four-wave mixing using synchronous modulation with a single phase modulator," Topical Meeting on Optical Amplifiers and Their Applications (OAA 2003), no.WD3, July 2003.
339. M. Tanaka and A.M. Nazmul (Invited), "Control of ferromagnetic order and high Curie temperature in Mn-delta-doped i-HEMT structures", Spintech II, International Conference and School on Semiconductor Spintronics and Quantum Information Technology, Crowne Plaza Hotel, Brugge, Belgium, August 4-8, 2003.
340. S. Ohya, H. Kobayashi, and M. Tanaka, "Properties and Curie Temperature (130K) of Heavily Mn-doped Quaternary Alloy Ferromagnetic Semiconductor (InGaMn)As Grown on InP", Spintech II, International Conference and School on Semiconductor Spintronics and Quantum Information Technology, Crowne Plaza Hotel, Brugge, Belgium, August 4-8, 2003.
341. M. Sugiyama, I.T. Im, H.J. Oh, O. Feron, Y. Shimogaki, and Y. Nakano, "Experimental and numerical analysis on metalorganic chemical vapor deposition of In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>As<sub>y</sub>P<sub>1-y</sub>", Proceedings of 2003 Korea-Japan Joint workshop on Advanced Semiconductor Processes and Equipments, Gangneung, Korea, August 21-24, 2003, pp.184-192 (2003).
342. I.T. Im, M. Sugiyama, Y. Nakano, and Y. Shimogaki, "A study on heat transfer and film growth rate during the III-V MOCVD processes", Proceedings of 2003 Korea-Japan Joint workshop on Advanced Semiconductor Processes and Equipments, Gangneung, Korea, August 21-24, 2003, pp.240-245 (2003).
343. M. Tanaka (Invited), "Ferromagnetic heterostructures for semiconductor spintronics", International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS-2003), San Diego, August 25-27, 2003.
344. D. T. Kien and S. Yamashita, "Realization of chirped sampled fiber Bragg gratings for DWDM systems using multiple phase-shift technique," Topical Meeting on Bragg Gratings, Photosensitivity and Poling in Glass Waveguides (BGPP 2003), no.MD2, Aug. 2003.
345. 徐在國, 鄭錫煥, 水本哲弥, 竹中充, 中野義昭, "GaInAsP/InP導波路におけるポンプ光誘起吸収変化の測定", 第64回応用物理学会学術講演会(福岡大学), 31p-YK-15, 2003年8月31日.
346. Chaiyosit Kumtornkittikul, 脇一太郎, 霜垣幸浩, 中野義昭, "MOVPE成長AlN/GaN多重量子井戸における1.55 μ mのサブバンド間遷移 (Intersubband transition at lamda~1.55 μ m in MOVPE-grown AlN/GaN multiple quantum wells)", 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会(新潟大学)講演論文集, C-4-17, p. 293, 2003年9月25日.
347. チャイヤスィットカムトーンキッティクル, 脇一太郎, 霜垣幸浩, 中野義昭, "MOVPE成長AlN/GaN多重量子井戸における1.55\_mサブバンド間吸収の観測 (Achievement of intersubband absorption at λ ~1.55 μ m in MOVPE-grown AlN/GaN multiple quantum wells)", 第64回応用物理学会学術講演会(福岡大学), 30p-YH-7, 2003年8月30日.
348. 清水大雅, 中野義昭, "非相反損失に基づくTEモード半導体導波路型光アイソレータの試作 (Fabrication of a TE mode semiconductor-waveguide-type optical isolator based on non-reciprocal loss)", 第64回応用物理学会学術講演会(福岡大学), 30a-YH-7, 2003年8月30日.
349. 中野義昭, "(応用電子物性分科会60周年記念招待講演) 光エレクトロニクス(光信号処理)デバイス (Optoelectronic -optical signal processing- devices)", 第64回応用物理学会学術講演会(福岡大学), 30p-YA-2, 2003年8月30日.
350. 呉豪振, 林益台, 杉山正和, 中野義昭, 霜垣幸浩, "V族原料による選択成長領域におけるIn/Ga組成分布の変化 (The change of In/Ga ratio in selectively grown film using organic or hydride group V precursor)", 第64回応用物理学会学術講演会(福岡大学), 31a-K-1, 2003年8月31日.
351. 呉豪振, 杉山正和, 中野義昭, 霜垣幸浩, "選択MOCVD に伴うSiO<sub>2</sub> マスク上の核発生: 成長条件依存性 (Appearance of polycrystalline on the dielectric mask during GaAs MOCVD selective area growth: effect of growth conditions)", 第64回応用物理学会学術講演会(福岡大学), 31a-K-2, 2003年8月31日.
352. 竹中充, 中野義昭, "多モード干渉カプラ型半導体レーザによる全光フリップ・フロップの提

- 案 (Proposal of a novel all-optical flip-flop using an MMI-coupler-based bistable laser diode)", 第64回応用物理学会学術講演会(福岡大学), 31p-YK-10, 2003年8月31日.
353. 宋学良, 張臻瑞, 曹志恒, 中野義昭, "選択成長によるモノリシック集積MZI型全光スイッチ SOA部の線幅増大係数の測定 (Measurement of linewidth enhancement factor of the SOA employed in the SAG based monolithic all-optical switch)", 第64回応用物理学会学術講演会(福岡大学), 31p-YK-7, 2003年8月31日.
354. イット・フーチョン, 竹中充, 宋学良, 中野義昭, "InGaAsP方向性結合半導体光增幅器の改良試作とその波長変換特性 (Improved fabrication and wavelength conversion characteristics of InGaAsP directionally-coupled semiconductor optical amplifier)", 第64回応用物理学会学術講演会(福岡大学), 1a-YK-7, 2003年9月1日.
355. 脇一太郎, チャイヤスイットカムトーンキッティクル, 霜垣幸浩, 中野義昭, "MOVPE成長 AlN/GaN多重量子井戸における近赤外サブバンド間遷移 (Near-infrared intersubband transitions in MOVPE-grown AlN/GaN MQWs)", 第64回応用物理学会学術講演会(福岡大学), 1a-G-5, 2003年9月1日.
356. Ik-Tae Im, Ho-Jin Oh, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, and Yukihiko Shimogaki, "A Study on the Thermal Effects to the Film Growth Rate During MOCVD Processes", 第64回応用物理学会学術講演会(福岡大学), 2a-K-10, 2003年9月2日.
357. 中野貴之, 福島康之, 杉山正和, 中野義昭, 霜垣幸浩, "MOVPE 法による化合物半導体結晶成長における表面反応メカニズムの解明 (Investigation of surface reaction mechanism during compound semiconductor crystal growth in MOVPE)", 第64回応用物理学会学術講演会(福岡大学), 2a-K-8, 2003年9月2日.
358. 山口浩之, 小川智之, 田中雅明, "III-V:MnAsグラニュラー薄膜の磁気光学特性", 2003年(平成15年)秋季第64回応用物理学会学術連合講演会 1a-ZL-9, 福岡大学, 2003年8月30日~9月2日.
359. 星野茂樹, 岩波瑞樹, 岸眞人, 土屋昌弘: "光ファイバ端磁気光学 (MO) プローブの性能向上に関する検討", 平成15年秋季応用物理学会講演会1a-W-9/III
360. 中野義昭, "(招待論文) フォトニックネットワークにおけるデバイス技術の動向 ーデジタル光デバイスに向けて (Trends of device technologies for photonic networking -toward digital photonic devices)", 電子情報通信学会技術研究報告(フォトニックネットワーク研究会), PN2003-9, p. 1, 2003年9月2-3日.
361. S. Yamashita and M. Yokooji, "Channel-spacing-tunable sampled fiber grating based on heat-induced multiple-phase-shift (MPS) technique," European Conf. on Optical Communication (ECOC'03), no.Mo.3.2.6, Sept. 2003.
362. Foo Cheong Yit, Mitsuru Takenaka, and Yoshiaki Nakano, "Improved fabrication of directionally-coupled semiconductor optical amplifier devices and their wavelength conversion characteristics under asymmetric current injection", Technical Digest, Topical Meeting on Photonics in Switching, PS.Mo.A7, pp. 29-31, Versailles, France, September 28-October 2, 2003.
363. M. Tanaka (Invited), "Control of ferromagnetic order in selectively p-doped GaMnAs-based heterostructures", Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (SSDM), 'Core area 8 Quantum Nanostructure Devices and Physics', Tokyo, September 16-18, 2003.
364. M. Iwanami, S. Hoshino, M. Kishi and M. Tsuchiya: Magnetic Near-Field Mappings over Fine Circuits by Fiber-Edge Magneto-Optic Probe, Technical Digest of 2003 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2003), Tokyo, Japan, September 16-18, 2003
365. S. Nakadai, K. Higuma, S. Oikawa, M. Kishi and M. Tsuchiya: Optical single sideband modulation with frequency doubling functionality, Technical Digest of ECOC2003, Rimini, Italy, September 21-25, 2003
366. Chaiyasit Kumtornkittikul, 脇一太郎, 霜垣幸浩, 中野義昭, "MOVPE成長AlN/GaN多重量子井戸における $1.55 \mu m$ のサブバンド間遷移 (Intersubband transition at lamda~ $1.55 \mu m$  in MOVPE-grown AlN/GaN multiple quantum wells)", 電子情報通信学会ソサイエティ大会(新潟大学).
367. 三谷俊輔, 岸眞人, 土屋昌弘: "ファラデー回転子光バイアス法を用いる直線集積型光プローブヘッド", 2003年電子情報通信学会ソサイエティ大会発表, 新潟, 2003年9月23~26日
368. T. D. Kien, 山下真司, "多点位相シフト法によるチャープサンプル光ファイバラッピンググレーティングの高密度化," 2003年電子情報通信学会ソサイエティ大会, no.C-3-67, Sep. 2003.
369. 柏木謙, 山下真司, "位相マスクを用いたUV光照射によるラッピンググレーティングと光導波路の同時作製," 2003年電子情報通信学会ソサイエティ大会, no.C-3-68, Sep. 2003.
370. 井上晋宏, 山下真司, "多波長光ファラマンリングレーザ," 2003年電子情報通信学会ソサイエティ大会, no.C-3-69, Sep. 2003.

エティ大会, no.C-4-32, Sep. 2003.

371. M. Tanaka (Invited), "Ferromagnetic Semiconductor Heterostructures for Spintronics", The Fourth Korea-Japan Workshop on Strongly Correlated Systems on Spectroscopy of Correlated Materials and their Nano-Structures, Iizuna-Kogen, Nagano, Japan, September 24-26, 2003
372. Mitsuru Takenaka and Yoshiaki Nakano, "Design and analysis of compact directionally coupled bistable laser diodes", Proceedings of the Eighth Optoelectronics and Communications Conference (OECC 2003), 14C2-6, pp. 333-334, Shanghai, China, October 13-16, 2003.
373. Mitsuru Takenaka and Yoshiaki Nakano, "Simulation of all-optical flip-flops based on bistable laser diodes with nonlinear couplers", Proceedings of the IEEE/LEOS 3rd International Conference on Numerical Simulation of Semiconductor Optoelectronic Devices (NUSOD '03), ThC4, pp. 94-95, Tokyo, October 14-16, 2003
374. Mitsuru Takenaka and Yoshiaki Nakano, "Realization of a compact directionally-coupled bistable laser diode for all-optical flip-flop application", Conference Proceedings, IEEE Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting (LEOS 2003), ThG5, pp. 828-829, Tucson, Arizona, October 26-30, 2003.
375. Chaiyasit Kumtornkittikul, Ichitaro Waki, Yukihiko Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "First observation of  $1.55 \mu m$  intersubband absorption in MOVPE-grown AlN/GaN multiple quantum wells", to be published in Conference Proceedings, IEEE Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting (LEOS 2003), ThU3, pp. 947-948, Tucson, Arizona, October 26-30, 2003.
376. K. Kashiwagi and S. Yamashita, "Fabrication of silica-based glass optical waveguide by UV beam scanning," Micro-Optics Conference (MOC'03), no.H46, Oct. 2003.
377. S. Yamashita, S. Maruyama, Y. Murakami, Y. Inoue, H. Yaguchi, M. Jablonski, S.Y.Set, "Saturable absorbers incorporating carbon nanotubes directly synthesized onto substrates/fibers and their application to mode-locked fiber lasers," Micro-Optics Conference (MOC'03), Postdeadline Paper, no.PD-2, Oct. 2003.
378. Ichitaro Waki, Chaiyasit Kumtornkittikul, Yukihiko Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "Non-uniform distribution of intersubband transition wavelength in MOVPE-grown AlN/GaN multiple quantum wells over a 2-inch sapphire substrate", Meeting Abstracts, Electrochemical Society Annual Meeting, Boston, Massachusetts, November 1-6, 2003.
379. Ichitaro Waki, Chaiyasit Kumtornkittikul, Yukihiko Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "Effect of AlN/GaN superlattices in reducing dislocation density in GaN grown by MOVPE", Meeting Abstracts, Electrochemical Society Annual Meeting, Boston, Massachusetts, November 1-6, 2003.
380. M. Tanaka (Invited, Plenary talk), "Epitaxial Ferromagnetic Heterostructures Based on Semiconductors: Towards a New Spin-Based Electronics", 50th Anniversary Plenary Session in the 50th AVS International Symposium, AP-WEM7, Baltimore, November 2-7, 2003.
381. M. Tanaka, S. Sugahara, and A.M. Nazmul (Invited), "Ferromagnetic heterostructures based on semiconductors", International Workshop on Nano-Scale Magnetoelectronics, Nagoya, 25-27 November, 2003.
382. 山下真司, "カーボンナノチューブの光デバイス応用," 電子情報技術産業協会 (JEITA) フォトニックネットワークデバイス技術専門委員会, Nov. 2003.
383. Waki, C. Kumtornkittikul, Y. Shimogaki, and Y. Nakano, "Non-uniform distribution of intersubband transition wavelength in MOVPE-grown AlN/GaN multiple quantum wells over a 2-inch sapphire substrate", Proceedings of 2003 Material Research Society Fall Meeting, Boston, MA, December 1-5, 2003, Abst#Y10.54 (2003)
384. 中野義昭, 竹中充, 宋学良, 清水大雅, "(招待論文) 半導体能動導波路に基づくデジタルフォトニックデバイス (Invited Paper: Digital photonic devices based on semiconductor active waveguides)", 電子情報通信学会技術研究報告(光エレクトロニクス研究会, LQE共催), OPE2003-213, p. 85, 2003年12月18-20日.
385. 山下真司, "光ファイバグレーティングの基礎, 解析法および多機能化," ニューガラスフォーラム情報通信デバイス研究会, Dec. 2003.
386. A.M. Nazmul, S. Sugahara and M. Tanaka, "External control of ferromagnetism in Mn-delta-doped GaAs-based heterostructures", 9th Joint MMM-Intermag Conference, paper AB-08, Anaheim, January 5-9, 2004.
387. R. Nakane, S. Sugahara and M. Tanaka, "The effect of post-growth annealing on the morphology and magnetic properties of MnAs thin films grown on GaAs(001) substrates", 9th Joint MMM-Intermag Conference, paper AE-08, Anaheim, January 5-9, 2004.
388. 竹中充, 中野義昭, "多モード干渉カプラーを有する双安定性半導体レーザによる全光フリッ

- プ・フロップの実現 (Realization of a semiconductor all-optical flip-flop by an MMI-based bistable laser diode)", 電子情報通信学会技術研究報告(フォトニックネットワーク研究会, LQE, OPE, EMT, OFT共催), PN2003-76, pp. 61-64, 2004年1月28-30日.
389. Yoshiaki Nakano, "(Keynote Presentation) Progress of photonic networking devices", 2004 IEEE Systems Packaging Japan Workshop, Hakone, Japan, February 2-4, 2004.
390. 中野義昭, "(招待講演) ブロードバンドネットワークを支える光デバイス技術の動向", 特定非営利活動法人 高度情報通信推進協議会 設立記念フォーラム「ブロードバンド時代の到来と新しい情報通信技術」講演資料集, 早稲田大学, 2004年2月6日.
391. Mitsuru Takenaka and Yoshiaki Nakano, "First realization of all-optical flip-flop based on bistable laser diode with active multimode interference cavity", Technical Digest, Conference on Optical Fiber Communication (OFC '04), WL4, Los Angeles, California, February 22-27, 2004.
392. M. Tanaka (Invited), "Ferromagnetic heterostructures for spintronics", International Symposium on Mesoscopic Superconductivity and Spintronics 2004 (MS+S2004), NTT Basic Research Laboratories Atsugi, Kanagawa, March 1-4, 2004.
393. M. Tanaka, "A New Spin on Semiconductors", First International Symposium of the 21st Century COE in Electronics for Future Generations, Takeda Hall, The University of Tokyo, March 10-11, 2004.
394. 竹中充, 中野義昭, "多モード干渉カプラを有する双安定性半導体レーザによる全光フリップ・フロップの実現 (Realization of a semiconductor all-optical flip-flop by an MMI-based bistable laser diode)", 電子情報通信学会技術研究報告(フォトニックネットワーク研究会, LQE, OPE, EMT, OFT共催), PN2003-76, pp. 61-64, 2004年1月28-30日.
395. 和氣範明, 中野貴之, 呉豪振, 杉山正和, 中野義昭, 霜垣幸浩, "化合物半導体のMOVPE選択成長における異常成長制御", 化学工学会第69年会 講演要旨集(XX大学), C306, 2004年3月23-25日.
396. 中野貴之, 杉山正和, 中野義昭, 霜垣幸浩, "時間変調成長によるMOVPE表面反応メカニズムの解明", 化学工学会第69年会 講演要旨集(XX大学), C306, 2004年3月23-25日.
397. 竹中充, モーラ・レイバン, 中野義昭, "多モード干渉カプラ型双安定半導体レーザを用いた全光フリップ・フロップ動作 (All optical flip-flop operation using a multimode interference bistable laser diode)", 電子情報通信学会総合大会(東京工業大学)講演論文集, C-4-30, p. 358, 2004年3月22-25日.
398. 和氣範明, 中野貴之, 呉豪振, 杉山正和, 中野義昭, 霜垣幸浩, "化合物半導体のMOVPE選択成長における異常成長制御 (Abnormal growth control in MOVPE selective area growth of compound semiconductor)", 第51回応用物理学関係連合講演会(東京工科大学), 28a-YG-7, 2004年3月28日.
399. 中野貴之, 杉山正和, 中野義昭, 霜垣幸浩, "MOVPE法における結晶成長中の表面反応メカニズムの解明(2) (Investigation of surface reaction mechanism during crystal growth in MOVPE 2)", 第51回応用物理学関係連合講演会(東京工科大学), 28p-YG-1, 2004年3月28日.
400. 金子慎, 清水大雅, 中野義昭, "InGaAs/InAlAs MQW-EA変調器における光誘起屈折率変化の測定 (Photo-induced refractive index change in InGaAs/InAlAs MQW-EA modulators)", 第51回応用物理学関係連合講演会(東京工科大学), 30p-ZV-1, 2004年3月30日.
401. 李寧, C. カムトーンキッティクル, 脇一太郎, 杉山正和, 霜垣幸浩, 中野義昭, "塩素系ICPエッチングによるGaN導波路の作製 (Fabrication of GaN waveguides using Cl<sub>2</sub>-based inductively coupled plasma etching)", 第51回応用物理学関係連合講演会(東京工科大学), 30a-ZV-7, 2004年3月30日.
402. 奈良田新一, ダルジャ・ジェッシー, 陳農, 中野義昭, "電流狭窄層をもったリッジ型半導体レーザの最適設計シミュレーション (Numerical optimization of ridge waveguide semiconductor lasers with current confinement structure)", 第51回応用物理学関係連合講演会(東京工科大学), 31p-ZZ-2, 2004年3月31日.
403. 竹中充, モーラ・レイバン, 中野義昭, "方向性結合器型半導体レーザの小型化による全光フリップ・フロップの特性改善 (Improvement of characteristics of all-optical flip-flop using a compact directionally-coupled bistable laser diode)", 第51回応用物理学関係連合講演会(東京工科大学), 31a-ZK-9, 2004年3月31日.
404. 大塚節文, 中野義昭, "マストランスポートInAsP量子細線のバンド構造に対するひずみの効果 (Strain effect on the band structure of mass-transported InAsP quantum wires)", 第51回応用物理学関係連合講演会(東京工科大学), 31a-ZZ-2, 2004年3月31日.
405. 山下真司, 平井肇, "リング上に曲げ配置したFBGの変形による特性可変化," 2004年電子情報通信学会ソサエティ大会, no.C-3-25, Mar. 2004.

406. Trung Kien Dinh, 山下真司, “サンプル光ファイバラッピンググレーティングの広帯域化・高密度化,” 2004年電子情報通信学会ソサエティ大会, no.C-3-31, Mar. 2004.
407. 柏木謙, 山下真司, “UV光照射による石英系光導波路作製技術を利用した長周期グレーティング導波路の作製,” 2004年電子情報通信学会ソサエティ大会, no.C-3-149, Mar. 2004.
408. 井上晋宏, 山下真司, “多波長エルビウムドープファイバリングレーザ,” 2004年電子情報通信学会ソサエティ大会, no.C-4-15, Mar. 2004.
409. 浅野将弘, 山下真司, “共振器中の分散を利用した波長可変モード同期光ファイバレーザ,” 2004年電子情報通信学会ソサエティ大会, no.C-4-16, Mar. 2004.
410. 井上悠介, 山下真司, 丸山茂夫, 村上陽一, 矢口寛, M. Jablonski, S. Y. Set, “石英基板上に直接合成したカーボンナノチューブの可飽和吸収特性を用いたモード同期光ファイバレーザ,” 2004年電子情報通信学会ソサエティ大会, no.C-4-20, Mar. 2004.
411. Hoang Manh Nguyen, 山下真司, “自己注入同期を用いたファブリペロー半導体レーザによる波形再生,” 2004年電子情報通信学会ソサエティ大会, no.C-3-25, Mar. 2004.
412. Nong Chen, Shinichi Narata, Jesse Darja, and Yoshiaki Nakano, "Semiconductor lasers designed for cost effective fiber communication", Proceedings of the 8th Sino-Japanese Joint Meeting on Optical Fiber Science and Electromagnetic Theory, S3-PD1, Huangshan City, Anhui, China, March 28-30, 2004.
413. 山下真司, “カーボンナノチューブ可飽和吸収素子とモードロック光ファイバレーザ応用（招待講演）,” 第42回精研シンポジウム, Mar. 2004.
414. 中野義昭, "(招待講演) 日本におけるフォトニックネットワークデバイス開発", 電子情報通信学会フォトニックネットワーク・ワークショップ, 東京工業大学, 2004年4月12日.
415. M. Tanaka and A.M. Nazmul (Invited), "Control of ferromagnetic order in semiconductor heterostructures with Mn delta doping", MRS Spring Meeting 2004, paper G1.4, San Francisco, April 12-16, 2004.
416. M. Tanaka (Invited), "Magnetic heterostructures for spintronics", International Conference on Nanospintronics Design and Realization (ICNDR), Kyoto, 24-28 May, 2004.
417. S. Yamashita, S. Y. Set, and M. Jablonski, "Optical properties of carbon nanotubes and their applications to photonic devices (invited)," Conference on Optoelectronics and Optical Communications (COOC 2004), no.ThD2-1, May 2004.
418. S. Yamashita and Y. Inoue, "Multiwavelength Er-doped fiber ring laser incorporating highly nonlinear fiber," Conference on Lasers and Electro Optics (CLEO 2004), no.CMD6, May 2004.
419. Kien Trung Dinh, 山下真司, “多チャンネル分散補償デバイスや広帯域高密度OWDMデバイスへ応用できる機能サンプルFBGの検討および作製,” 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会(OPE), no.OPE2004-11, May 2004.
420. Takayuki Nakano, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "The role of the surface adsorption layer during InGaAsP MOVPE growth analyzed by the flow modulation method", Workbook, 12th International Conference on Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy, Maui, Hawaii, May 30-June 4, 2004.
421. Mitsuru Takenaka, Maura Raburn, and Yoshiaki Nakano, "Improvement of optical flip-flop characteristics of compact directionally-coupled bistable laser diode", Conference Proceedings, 16th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM '04), WA3-4, pp. 523-526, Kagoshima, Japan, May 31-June 4, 2004.
422. M. Tanaka, S. Sugahara, and A.M. Nazmul (Invited), "Growth and Properties of Magnetic Heterostructures for Semiconductor Spintronics", 12th International Conference on Solid Films and Surfaces (ICSF-12), Hamamatsu, June 21-25, 2004.
423. 田中雅明, "半導体スピニエレクトロニクス材料とその応用", 金属学会セミナー、東京・商工会館、2004年6月25日.
424. S. Yamashita, Y. Inoue, K. Hsu, S. Y. Set, M. Jablonski, H. Yaguchi, T. Kotake, and K. Sato, "A 2cm-long fiber Fabry-Perot mode-locked laser incorporating carbon nanotubes," Conference on Lasers and Electro Optics (CLEO 2004), no.CTuD7, May 2004.
425. S. Y. Set, M. Jablonski, and S. Yamashita, "Recent advances in carbon nanotube photonics," Topical Meeting on Optical Amplifiers and Their Applications (OAA 2004), no.OMD3, June 2004.
426. Hiromasa Shimizu and Yoshiaki Nakano, "Fabrication of a semiconductor-waveguide-type optical isolator based on the nonreciprocal loss shift", PASPS III, Santa Barbara, California, July, 2004.
427. Shin Kaneko, Hiromasa Shimizu, Xiaoping Zhao, and Yoshiaki Nakano, "Photo-induced phase modulation in InGaAs/InGaAlAs electro-absorption modulators for all-optical wavelength conversion", Technical Digest, the Ninth Optoelectronics and Communications Conference (OECC

- 2004), 14F1-5, pp. 550-551, Yokohama, July 12-16, 2004.
428. S. Y. Set, S. Yamashita, K. Hsu, K. H. Fong, Y. Inoue, K. Sato, D. Tanaka, and M. Jablonski, "10GHz short-cavity fiber pulsed lasers passively mode-locked using carbon nanotubes," Optical Electronics and Communications Conf. (OECC'2004), no.16B2-1, July 2004.
429. S. Yamashita and H. Hirai, "Tunable dispersion compensator by deformation of curved fiber Bragg grating on a ring," Optical Electronics and Communications Conf. (OECC'2004), no.16D2-3, July 2004.
430. S. Yamashita and M. Yasuoka "A tunable gain equalizer using stress-induced mode couplings in a polarization maintaining fiber," Optical Electronics and Communications Conf. (OECC'2004), no.14D3-5, July 2004.
431. Kashiwagi and S. Yamashita, "Fabrication of silica-based optical channel waveguide containing long period grating by UV beam scanning," Optical Electronics and Communications Conf. (OECC'2004), no.15F3-2, July 2004.
432. S. Yamashita and H. M. Nguyen, "All-optical 2R regeneration using a self-injected two-mode injection-locked Fabry-Perot laser diode," Optical Electronics and Communications Conf. (OECC'2004), no.13B1-3, July 2004.
433. D. T. Kien and S. Yamashita, "Spectral broadening and densification of sampled FBGs by interleaving and multiple phase shift methods," Optical Electronics and Communications Conf. (OECC'2004), no.15F3-3, July 2004.
434. 山下真司, S. Y. Set, K. Hsu, 井上悠介, M. Jablonski, 矢口寛, 小竹智晴, "カーボンナノチューブを用いた5GHz 繰り返しパルス短共振器光ファイバーレーザ," 第27回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, no.2-6, July 2004.
435. 田中雅明, "半導体スピントロニクス", 未踏科学技術協会主催サイエンスサマー道場「半導体ナノサイエンスとその応用」長野市飯綱高原ホテルアルカディア、2004年8月17-19日.
436. M. Tanaka (Invited, Plenary talk), "Spintronics: Recent Progress and Tomorrow's Challenges", International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE2004), Edinburgh, UK, August 22 - 27, 2004.
437. Mitsuru Takenaka, Maura Raburn, and Yoshiaki Nakano, "(Invited Paper) Simulation of semiconductor all-optical flip-flops using the finite-difference beam-propagation method", Proceedings of the 4th International Conference on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD 2004), TuC1, pp. 15-18, Santa Barbara, California, August 24-26, 2004.
438. Abdullah Al Amin, Takeshi Doi, Kenji Sakurai, Zhenrui Zhang, Xueliang Song, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano, "Simulation of bandgap in MOVPE selective area growth of InGaAsP-based photonic integrated circuits", Proceedings of the 4th International Conference on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD 2004), TuC5, pp. 25-26, Santa Barbara, California, August 24-26, 2004.
439. Maura Raburn, Mitsuru Takenaka, and Yoshiaki Nakano, "Simulation of distributed Bragg reflector multi-mode interference bistable laser diodes for cascadable all-optical flip-flops", Proceedings of the 4th International Conference on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD 2004), TuC3, pp. 21-22, Santa Barbara, California, August 24-26, 2004.
440. 柏木謙, 山下真司, "UV光照射による高機能石英系光導波路の作製," 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会(OPE), no.OPE2004-123, Aug. 2004.
441. 中野貴之, 杉山正和, 中野義昭, 霜垣幸浩, "MOVPE法における結晶成長中の表面反応メカニズムの解明(3)(Investigation of surface reaction mechanism during crystal growth in MOVPE 3)", 第65回応用物理学会学術講演会(東北学院大学), 2004年9月.
442. 阿波良基, 荒川太郎, 井手智祥, 杉山正和, 清水大雅, 霜垣幸浩, 中野義昭, 羽路伸夫, 多田邦雄, "GaNのガス交互供給ECR-RIEにおけるエッチング速度・エッチング面平坦性の改善 (High etch rate and improved etched surface morphology in ECR -RIE of GaN by cyclic injection of etching gases)", 第65回応用物理学会学術講演会(東北学院大学), 2004年9月.
443. 宋学良, 張臻瑞, 二口尚樹, 中野義昭, "MOVPE選択成長による全光スイッチの動特性 (Dynamic switching performance of all-optical switches fabricated with selective-area MOVPE)", 第65回応用物理学会学術講演会(東北学院大学), 2004年9月.
444. 清水大雅, 中野義昭, "非相反損失に基づくTEモード半導体導波路型光アイソレータの改良試作 (Improved fabrication of a TE mode semiconductor-waveguide-type optical isolator based on the non-reciprocal loss shift)", 第65回応用物理学会学術講演会(東北学院大学), 2004年9月.
445. Abdullah Al Amin, Kenji Sakurai, Takashi Sakurai, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano, "Fabrication of double-etched waveguides for compact and low-loss InP photonic circuits (コンパク

- トで低損失なInP光回路のための2回エッチ導波路の試作)", 第65回応用物理学会学術講演会(東北学院大学), 2004年9月.
446. 横山正史、山口浩之、小川智之、田中雅明, "閃亜鉛鉱型MnAsクラスターを有するGaAs:MnAsグラニュラー薄膜", 2004年秋季第65回応用物理学会学術講演会、東北学院大学泉キャンパス、2004年9月1日～4日.
447. Mitsuru Takenaka, Maura Raburn, and Yoshiaki Nakano, "All-optical flip-flop operation via two-mode bistability of multimode interference bistable laser diodes", Technical Digest, 30th European Conference on Optical Communication (ECOC 2004), Stockholm, Sweden, September 5-9, 2004.
448. Xueliang Song, Zhenrui Zhang, and Yoshiaki Nakano, "Monolithically integrated SOA-MZI all-optical switch with high-yield regrowth-free selective area MOVPE", Technical Digest, 30th European Conference on Optical Communication (ECOC 2004), Stockholm, Sweden, September 5-9, 2004.
449. S. Yamashita, Y. Inoue, H. Yaguchi, M. Jablonski, and S. Y. Set, "S-, C-, L-band picosecond fiber pulse sources using a broadband carbon-nanotube-based mode-locker, European Conf. on Optical Communication (ECOC'04), no.Th.1.3.4, Sept. 2004.
450. M. Tanaka (Invited), "Spintronics Materials and Devices", International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2004), Rump Session B 'Challenges of Spintronics: from basic physics to nanoscale devices', Tokyo, September 15-17, 2004.
451. Chaiyasit Kumtornkittikul, Ning Li, Ichitaro Waki, Hiroshi Otani, Masakazu Sugiyama, and Yoshiaki Nakano, "GaN-based waveguide structure for ultrafast photonic devices utilizing intersubband absorption (GaN系サブバンド間吸収超高速光デバイスに向けた導波路の設計)", 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会(徳島大学)講演論文集, 2004年9月.
452. 横大路宗生, 山下真司, "可変チャープによる波長間隔可変サンプル光ファイバグレーティング," 2004年電子情報通信学会ソサエティ大会, no.C-3-38, Sept. 2004.
453. 柏木謙, 山下真司, "UV光照射による石英系光導波路作製技術を利用したGACCの作製," 2004年電子情報通信学会ソサエティ大会, no.C-3-47, Sept. 2004.
454. 井上悠介, 山下真司, 矢口寛, M. Jablonski, S.Y. Set, "カーボンナノチューブを用いた2cmモード同期光ファイバレーザ" 2004年電子情報通信学会ソサエティ大会, no. C-4-28, Sept. 2004.
455. 稲葉淳, 山下真司, "多波長発振モード同期ファイバレーザにおける光フィルタと自己位相変調効果(SPM)によるパルスの安定化," 2004年電子情報通信学会ソサエティ大会, no. C-4-29, Sept. 2004.
456. Shahed Mazumder, 山下真司, "Optical regeneration (2R) technique using FWM in optical fiber," 2004年電子情報通信学会ソサエティ大会, no. B-10-62, Sept. 2004.
457. M. Tanaka, S. Sugahara, and A. M. Nazmul (Invited), "Magnetic Semiconductors and Heterostructures for Spin Electronics", The First Asia Forum on Magnetics, Okinawa Convention Center, Ginowan, Okinawa, Japan, September 21-24, 2004.
458. Mitsuru Takenaka, Maura Raburn, and Yoshiaki Nakano, "All-optical flip-flop multimode interference bistable laser diodes with reverse biased saturable absorbers", Conference Digest, 19th IEEE International Semiconductor Laser Conference, Matsue, Shimane, September 22-25, 2004.
459. Ning Li, Ichitaro Waki, Masakazu Sugiyama, Yukihiko Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "Fabrication of group III-nitride waveguides by inductively coupled plasma etching", Electro-Chemical Society Annual Meeting, Hawaii, October 3-6, 2004.
460. Yoshiaki Nakano, "(Invited Paper) Semiconductor integrated digital photonic devices", Electro-Chemical Society Annual Meeting, Hawaii, October 3-6, 2004.
461. Yoshiaki Nakano, "First demonstration of TE mode nonreciprocal propagation in a semiconductor active waveguide for an integratable optical isolator", Conference Digest (Post Deadline Papers), 19th IEEE International Semiconductor Laser Conference, SaB1, pp. 1-2, Matsue, Shimane, September 22-25, 2004.
462. Hiromasa Shimizu and Yoshiaki Nakano, "First demonstration of TE mode nonreciprocal propagation in a semiconductor active waveguide for an integratable optical isolator", Conference Digest (Post Deadline Papers), 19th IEEE International Semiconductor Laser Conference, SaB1, pp. 1-2, Matsue, Shimane, September 22-25, 2004.
463. Hiromasa Shimizu and Yoshiaki Nakano, "Fabrication of a TE mode semiconductor-waveguide-type optical isolator based on the nonreciprocal loss

shift", Abstracts, MRS Fall Meeting, J4.7, p. 276, Boston, Massachusetts, November 29-December 3, 2004.

②ポスター発表 (国内学会 0件、国際学会 51件)

1. Masaki Kato and Yoshiaki Nakano, "Strain-compensated InGaAs/InAlAs/InP pre-biased quantum well for polarization-insensitive and negative-chirp electro-absorption optical modulators", Conference Proceedings, 12th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM 2000), WP2.17, pp. 404-407, Williamsburg, Virginia, May 14-18, 2000.
2. Takayuki Nakano, Yoshiaki Nakano, and Yukihiko Shimogaki, "Kinetic ellipsometry measurement of InGaP/GaAs hetero-interface formation in MOVPE", Workbook, 10th International Conference on Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy, We-P16, pp. 228-229, Sapporo, June 5-9, 2000.
3. M. Tanaka, H. Shimizu, and M. Miyamura, "Enhancement of Magneto-optical Effect in a GaAs:MnAs Hybrid Structure Sandwiched by GaAs/AlAs Distributed Bragg Reflectors", 19th Electronic Materials Symposium, Izu-Nagaoka, paper G1, pp.131-132, June 28-30, 2000.
4. M. Tanaka, K. Takahashi, and S. Fujimoto, "Ferromagnet (MnAs)/III-V Semiconductor/Ferromagnet (MnAs) Trilayer Heterostructures: Epitaxial Growth and Magnetotransport Properties" 19th Electronic Materials Symposium, Izu-Nagaoka, paper G3, pp.135-136, June 28-30, 2000.
5. M. Tanaka and Y. Mishima, "Low Temperature Molecular-Beam Epitaxy Growth and Properties of (Ga, Er)As and (Ga, Er, Mn)As", 19th Electronic Materials Symposium, Izu-Nagaoka, paper G7, pp.141-144, June 28-30, 2000.
6. Takuro Tajima, Kunito Hayashi, Drew N. Maywar, Weerachai Asawamethapant, and Yoshiaki Nakano, "Fabrication of a bistable distributed feedback laser amplifier with a completely linear chirped grating by electron beam lithography", Conference Digest, 17th IEEE International Semiconductor Laser Conference, P-10, pp. 83-84, Monterey, California, September 26, 2000.
7. S. Yamashita and T. Baba, "Measurement of polarization mode dispersion (PMD) with a multiwavelength fiber laser," European Conf. on Optical Communication (ECOC'2000), no.P1.11, Sept. 2000.
8. Koji Igarashi, Satoshi Saito, Masato Kishi and Masahiro Tsuchiya, "Stimulated Raman Scattering Effect on Sub-50 fs Soliton Compression", Technical Digest of International Topical Workshop on Contemporary Photonic Technologies (CPT2001), Tokyo, pp. 83-84, January 16, 2001.
9. H.J. Oh, O. Feron, M. Kato, Y. Nakano and Y. Shimogaki, "3-Dimensional CFD simulation of InGaAsP MOCVD in a horizontal reactor", EMS20 (Electronic Materials Symposium), Nagoya, June, 2002.
10. S. Ohya, Y. Higo, H. Shimizu, J.M. Sun, and M. Tanaka, "Growth and Properties of Quaternary Alloy Magnetic Semiconductor InGaMnAs", 20th Electronic Materials Symposium, Nara, paper E2, pp.113-116, June 20-22, 2001.
11. J. M. Sun, A. M. Nazmul, H. Shimizu, S. Ohya, and M. Tanaka, "Influence of the Excess As on the Structure and Optical Properties of GaMnAs Films Grown by Low-Temperature Molecular-Beam Epitaxy", 20th Electronic Materials Symposium, Nara, paper E3, pp.117-120, June 20-22, 2001.
12. S. Sugahara and M. Tanaka, "Growth Characteristics and Magnetic Properties of MnAs/AlAs/MnAs Trilayer Heterostructures Grown on Vicinal GaAs (111)B Substrates", 10th Int. Conf. on Modulated Semiconductor Structures (MSS-10), paper ThP30, Linz, Austria, July 23-27, 2001.
13. H. Shimizu and M. Tanaka, "Magneto-optical Properties of GaAs-based Semiconductor Magneto-photonic Crystals", 10th Int. Conf. on Modulated Semiconductor Structures (MSS-10), paper ThP34, Linz, Austria, July 23-27, 2001.
14. S. Saito, K. Igarashi, M. Kishi and M. Tsuchiya: Optimization of sub-picosecond EDF preamplifier dynamics for ultrashort soliton pulse compression, Technical Digest of International Topical Workshop on Contemporary Photonic Technologies (CPT2002), Tokyo, E-7, pp. 73-74 (January 2002).
15. Ho-Jin Oh, Naoki Futakuchi, Yoshiaki Nakano, and Yukihiko Shimogaki, "Analysis on selective area growth of InGaAsP by MOVPE", Workbook, 11th International Conference on Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy, Mon-P3, p. 76, Berlin, Germany, June 3-7, 2002.
16. Yasuyuki Fukushima, Yoshiaki Nakano, and Yukihiko Shimogaki, "The precise control of group III elements distribution in GaAs/InGaP hetero interface by MOVPE", Workbook, 11th International

- Conference on Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy, Thu-P18, p. 276, Berlin, Germany, June 3-7, 2002.
17. Ichitaro Waki, Chaiyasit Kumtornkittikul, Kentaro Sato, Yukihiro Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "Metal-organic vapor phase epitaxial growth of crack-free AlN/GaN multiple quantum wells and their characterization", Extended Abstracts of the 21st Electronic Materials Symposium, C5, pp. 53-54, Izu-Nagaoka, June 19-21, 2002.
  18. Yasuyuki Fukushima, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "Surface segregation of In in InGaP/GaAs heterostructure grown by MOVPE", Extended Abstracts of the 21st Electronic Materials Symposium, E6, pp. 139-140, Izu-Nagaoka, June 19-21, 2002.
  19. Goh Segami, Tatsuya Suzuki, Nobuo Haneji, Taro Arakawa, Kunio Tada, Yukihiro Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "Electron cyclotron resonance reactive ion etching of III-V semiconductors by cyclic injection of CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar and O<sub>2</sub>", Extended Abstracts of the 21st Electronic Materials Symposium, G5, pp. 183-186, Izu-Nagaoka, June 19-21, 2002.
  20. Ho-Jin Oh, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "Analyses of selective area MOVPE growth and coupling with reactor scale 3-dimensional CFD simulation", Extended Abstracts of the 21st Electronic Materials Symposium, E4, pp. 135-136, Izu-Nagaoka, June 19-21, 2002.
  21. M. Nazmul, S. Sugahara, and M. Tanaka, "High Ferromagnetic Transition Temperature (172 K) in Mn-delta-doped GaAs with Selective p-type Doping", 21st Electronic Materials Symposium, Izu-Nagaoka, paper D7, pp.111-114, June 19-21, 2002.
  22. S. Ohya, H. Yamaguchi, and M. Tanaka, "Properties of Quaternary Alloy Magnetic Semiconductor (InGaMn)As Grown on InP", 21st Electronic Materials Symposium, Izu-Nagaoka, paper D8, pp.115-118, June 19-21, 2002.
  23. H. Shimizu and M. Tanaka, "Magneto-optical Properties of GaAs:MnAs Nanocluster Structures and Application to Semiconductor-Waveguide-Type Optical Isolators", 21st Electronic Materials Symposium, Izu-Nagaoka, paper D5, pp.103-106, June 19-21, 2002.
  24. H. Shimizu and M. Tanaka, "A Semiconductor-waveguide-type Optical Isolator Using MnAs Nanoclusters", 2nd International Conference on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PAPSPS 2002), paper PIII43, Wuerzburg, Germany, July 23-26, 2002.
  25. S. Ohya, H. Yamaguchi, and M. Tanaka, "Properties of Quaternary Alloy Magnetic Semiconductor (InGaMn)As Grown on InP", 2nd International Conference on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PAPSPS 2002), paper PII17, Wuerzburg, Germany, July 23-26, 2002.
  26. D. M. Engebretson, J. P. Park, H. Shimizu, M. Tanaka, and P. A. Crowell, "Time-Resolved Ferromagnetic Resonance in Ga<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>As", 2nd International Conference on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PAPSPS 2002), paper PI7, Wuerzburg, Germany, July 23-26, 2002.
  27. S. Nakadai, M. Kishi and M. Tsuchiya: BPSK Signal Generation Method Based on DSB-SC Modulation with Excess Spectrum Broadening Suppressed, The 4th Korea-Japan Joint Workshop on Microwave & Millimeter-Wave Photonics, Korea, P-10, pp.141-144 (January 23-24,2003).
  28. S. Mitani, E. Yamazaki, M. Kishi and M. Tsuchiya: Sensitivity enhancement by optical pre-amplification combined with optical bias optimization in fiber-optical probing systems for electromagnetic field measurements, The 4th Korea-Japan Joint Workshop on Microwave & Millimeter-Wave Photonics, Korea, P-14, pp.157-160 (January 23-24,2003).
  29. Ho-Jin Oh, Ik-Tae Im, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "Study on the surface reaction kinetics of InGaAsP related materials MOCVD through analyses of growth rate distribution in the selective area growth", Conference Proceedings, 15th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM '03), ThP1, pp. 397-400, Santa Barbara, California, May 12-16, 2003.
  30. Chaiyasit Kumtornkittikul, Ichitaro Waki, Yukihiro Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "Well and barrier width dependence of near-infrared intersubband absorption in AlN/GaN multiple quantum wells grown by MOVPE", Technical Digest, 5th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS), Mo-P1.047, p. 244, Nara, Japan, May 25-30, 2003.
  31. A. M. Nazmul, S. Kobayashi, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Electrical and Optical Control of High Temperature Ferromagnetism in a Semiconductor Heterostructure", Extended Abstracts of the 9th Symposium on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PAPSPS-9), PA6, pp.37-41, Tokyo, June 11-12, 2003.
  32. T. Ogawa, Y. Shuto, and M. Tanaka, "Magnetic Properties of GaAs:MnAs Granular Films under

- Light Irradiation", Extended Abstracts of the 9th Symposium on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-9), PB19, pp.190-193, Tokyo, June 11-12, 2003.
33. H. Yamaguchi, T. Ogawa, and M. Tanaka, "Magneto-optical Properties of Ferromagnetic MnAs Nanoclusters in Various III-V Semiconductor Matrices", Extended Abstracts of the 9th Symposium on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-9), PB20, pp.194-195, Tokyo, June 11-12, 2003.
  34. T. Ogawa, Y. Shuto, K. Ueda, and M. Tanaka, "Photo-induced anomalous Hall effect in GaAs:MnAs granular films", 11th Int. Conf. on Modulated Semiconductor Structures, paper PC61, Nara, July 14-18 (2003).
  35. S. Ohya, H. Kobayashi, and M. Tanaka, "Magnetic Properties and Curie Temperature (~130K) of Heavily Mn-doped Quaternary Alloy Ferromagnetic Semiconductor (InGaMn)As Grown on InP", 11th Int. Conf. on Modulated Semiconductor Structures, paper PB70, Nara, July 14-18 (2003).
  36. Ichitaro Waki, Chaiyosit Kumtornkittikul, Yukihiro Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "Near-infrared intersubband transitions in MOVPE-grown AlN/GaN multiple quantum wells", to be published in Extended Abstracts, the 10th International Workshop on Femtosecond Technology (FST 2003), WB-2, Makuhari, Japan, July 16-17, 2003.
  37. Ik-Tae Im, Ho-Jin Oh, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "Fundamental kinetics of determining growth rate profiles of InP and GaAs in MOVPE with horizontal reactor", Proceedings of the 11th Biennial Workshop on OMVPE, Paper 728, Colorado, July 20-24, 2003.
  38. Masakazu Sugiyama, Ho-jin Oh, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "The effect of group V precursor on selective area MOVPE of InP/GaAs related materials", Proceedings of the 11th Biennial Workshop on OMVPE, Paper 787, Colorado, July 20-24, 2003.
  39. S. Mitani, E. Yamazaki, M. Kishi, and M. Tsuchiya: EDFA-enhanced sensitivity of RF magneto-optical probe, Technical Digest of 2003 International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP2003), Budapest, Hungary, September 10-12, 2003
  40. T. Sato, M. Iwanami, S. Hoshino, M. Kishi and M. Tsuchiya: Current profiling for  $\mu\text{m}$ -class planar circuit patterns by fiber-edge magneto-optic probe, Technical Digest of 2003 International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP2003), Budapest, Hungary, September 10-12, 2003
  41. S. Yamashita and A. Inaba, "FBG laser sensor with intracavity dispersive fiber based on mode-locking frequency interrogation," Int. Conf. on Optical Fiber Sensors (OFS2003), no.WeP-18, Oct. 2003.
  42. Young Tae Byun, Hwa Sun Park, Sung Jin Kim, Deok Ha Woo, Jong Chang Yi, and Yoshiaki Nakano, "InGaAsP/InP DH ridge waveguide phase modulator with high modulation efficiency", Proceedings of the Eighth Optoelectronics and Communications Conference (OECC 2003), P2-12, pp. 289-290, Shanghai, China, October 13-16, 2003.
  43. Takafumi Ohtsuka and Yoshiaki Nakano, "Strain effect on the band lineup of mass-transported InAsP quantum wires buried in InGaAsP/InP", Technical Digest, Seventh International Symposium on Contemporary Photonics Technology (CPT 2004), P-6, pp. 77-78, Tokyo, January 14-16, 2004.
  44. Masakazu Sugiyama, Ho-Jin Oh, Ik-Tae Im, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "Measurement of surface reaction rate constants and reactor-scale simulation of growth rate and composition in InGaAsP MOVPE", Workbook, 12th International Conference on Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy, Maui, Hawaii, May 30-June 4, 2004.
  45. Takafumi Ohtsuka and Yoshiaki Nakano, "Strain distribution and band structure of mass-transported InAsP quantum wires buried in InGaAsP/InP", Conference Proceedings, 16th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM '04), P1-35, pp. 253-256, Kagoshima, Japan, May 31-June 4, 2004.
  46. M. Yokoyama, H. Yamaguchi, T. Ogawa, M. Tanaka, "Zinc-Blende-Type GaAs:MnAs Granular Films", Extended Abstracts of the 10th Symposium on the Physics and Application of Spin-related Phenomena in Semiconductors (PASPS-10), PB4, pp.-, Tokyo Institute of Technology, June 10-11, 2004.
  47. Yoshiki Awa, Tomoyoshi Ide, Taro Arakawa, Nobuo Haneji, Kunio Tada, Masakazu Sugiyama, Hiromasa Shimizu, Yukihiro Shimogaki, and Yoshiaki Nakano, "High etch rate and improved etched surface morphology in electron cyclotron resonance-reactive ion etching of GaN by cyclic injection of CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>/Ar and O<sub>2</sub> with constant Ar flow", Extended Abstracts of the 23rd Electronic Materials Symposium, C7, pp. 45-48, Izu-Nagaoka, Shizuoka, July 7-9, 2004.
  48. Noriaki Waki, Takayuki Nakano, Ho-jin Oh, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, and Yukihiro Shimogaki, "Understanding the abnormal growth of InP-related materials in selective-area MOVPE",

- Extended Abstracts of the 23rd Electronic Materials Symposium, D5, pp. 69-72, Izu-Nagaoka, Shizuoka, July 7-9, 2004.
49. Takayuki Nakano, Masakazu Sugiyama, Yoshiaki Nakano, Yukihiro Shimogaki, "Examination of sub-surface in MOVPE by time modulation growth", Extended Abstracts of the 23rd Electronic Materials Symposium, D8, pp. 79-82, Izu-Nagaoka, Shizuoka, July 7-9, 2004.
  50. M. Yokoyama, H. Yamaguchi, T. Ogawa, and M. Tanaka, "Properties of GaAs:MnAs Granular Films with Zinc-Blende Type MnAs Nanoclusters", 23rd Electronic Materials Symposium, Izu-Nagaoka, July 7-9, 2004.
  51. R. Nakane, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Epitaxial growth and magnetic properties of MnAs/III-V(GaAs, AlAs)/MnAs heterostructures on exact GaAs(111)B substrates", 3rd International Conference on Physics and Applications of Spin-Related Phenomena in Semiconductors (PASPS III), Santa Barbara, July 21-23, 2004.

(3) 特許出願 ( 国内 11 件 、 海外 4 件 )

- 1) 田中雅明, 清水大雅, 「半導体磁気光学効果装置及びその製造方法」, JST, 1999. 12. 13, 特願平 11-353506 (A111P02)
- 2) 中野義昭, 加藤正樹, 深津公良, 「光制御用半導体素子の量子井戸構造」, JST, 2000. 3. 16, 特願 2000-74201 (A111P03)
- 3) 中野義昭, 加藤正樹, 「全光制御システム」, JST, 2000. 3. 16, 特願 2000-74202 (A111P04)
- 4) 山下真司, 鳥居健一, 「波長変換装置」, JST, 2000. 7. 4, 特願 2000-202859 (A111P08), 特開 2002-23210 (2002. 1. 23), 特許第 3401483 号, PCT 出願 (PCT/JP00/06867) (A111-05PCT), 2000. 10. 3, 米国、EP(独・仏・英)へ移行中
- 5) 土屋昌弘, P. P. Vasi' lev, 「超短パルス光源」, JST, 2000. 9. 12, 特願 2000-260304 (A111P12), 特開 2002-72265 (2002. 3. 12), 特許第 3532838 号
- 6) 山下真司, 「可変光波機能回路及び可変光波機能装置」, JST, 2001. 3. 8, 特願 2001-6535 (A111P17), 特開 2002-268022 (2002. 9. 18), 特許第 3360074 号, PCT 出願 (PCT/JP02/02414) (A111-12PCT), 2002. 3. 5, 米国, EP(独・仏・英)へ移行中
- 7) 中野義昭、霜垣幸浩、中野貴之, 「MOVPE 成長における GaAs/InGaP 界面の作製方法」, JST, 2001. 3. 27, 特願 2001-90805 (A111P20), PCT 出願時補正で自国指定。最終的に PCT 出願は放置。A111P52, 特願 2002-576002 (2002. 3. 25)
- 8) 山下真司、那須悠介, 「光ファイバグレーティングの作製方法及び作製装置」, JST, 2001. 6. 27, 特願 2001-194462 (A111P25), 特開 2003-4926 (2003. 1. 8), PCT 出願 (PCT/JP02/05210) (A111-15PCT), 2002. 5. 29, 米国, EP(独・仏・英)へ移行中
- 9) 瀧田裕、土屋昌弘, 「モード同期集積型半導体レーザを用いた光信号再生インバータ」, JST, 2001. 8. 28, 特願 2001-257555 (A111P31), 特開 2003-66502 (2003. 3. 5)
- 10) 中野義昭, 竹中充, 「全光フリップフロップ」, JST, 2001. 9. 13, 特願 2001-278213 (A112P30), 特開 2003-84327 (2003. 3. 19), 特許第 3578737 号, PCT 出願 (PCT/JP02/09238) (A112-24PCT), 2002. 9. 19, 米国, EP(独・仏・英)へ移行中
- 11) 中台慎二, 土屋昌弘, 「光ミリ波・マイクロ波信号生成方法及びその装置」, JST, 2003. 2. 21, 特願 2003-045202 (A111P74)

#### (4) 新聞報道・受賞等

##### ①受賞

- 1) 応用物理学会講演奨励賞、2001年3月、清水大雅  
清水大雅、田中雅明、安藤功兒  
"半導体ベース1次元磁性フォトニック結晶における磁気光学特性の改善"  
2000年秋季第61回応用物理学会、4p-ZN-10、北海道工業大学、2000年9月に  
おける研究発表に対して。
- 2) 日本応用磁気学会・学術奨励賞（武井賞） 2001年9月 清水大雅  
清水大雅、宮村信、田中雅明 "半導体ベース磁性フォトニック結晶"  
日本応用磁気学会第24回学術講演会「ナノ・メゾスコピック磁性体の構造と  
機能」シンポジウム、2000年9月13日、早稲田大学 における研究発表に対  
して。
- 3) 丸文研究奨励賞（丸文研究交流財団） 2002年3月 田中雅明  
「半導体スピネレクトロニクスに向けた複合エピタキシャルヘテロ構造  
の創製」に関する研究業績  
[http://www.marubun.co.jp/zaidan/h13\\_tanaka.jsp](http://www.marubun.co.jp/zaidan/h13_tanaka.jsp)  
[http://www.marubun.co.jp/zaidan/pdf/h13\\_tanaka.pdf](http://www.marubun.co.jp/zaidan/pdf/h13_tanaka.pdf)
- 4) 応用物理学会講演奨励賞、2003年3月、竹中充  
竹中充、中野義昭  
"方向性結合器双安定レーザ構造を有する半導体全光フリップ・フロップの  
実現",  
2002年秋季第63回応用物理学会学術講演会、24p-B-14、新潟大学、2002年9  
月における研究発表に対して.
- 5) 第17回「日本IBM科学賞」 2003年11月 田中雅明  
「磁性体/半導体ヘテロ構造のエピタキシャル成長とスピネレクトロニク  
スへの展開に関する研究業績  
<http://www.ibm.com/news/jp/2003/11/11061.html>  
<http://www-6.ibm.com/jp/company/society/science/p17th/tanaka.shtml>
- 6) 応用物理学会講演奨励賞、2004年3月、C. カントゥーンキッティクル  
チャイヤシットカントゥーンキッティクル、脇一太郎、霜垣幸浩、中野義昭,  
"MOVPE成長AlN/GaN多重量子井戸における $1.55\mu m$ サブバンド間吸収の観測"  
2003年秋季第64回応用物理学会学術講演会、30p-YH-7、福岡大学、2003年8月30  
日における研究発表に対して.
- 7) リボンアワード(米Materials Research Society), 2004年12月, 清水大雅  
Hiromasa Shimizu and Yoshiaki Nakano, "Fabrication of a TE mode  
semiconductor-waveguide-type optical isolator based on the nonreciprocal loss shift",  
Abstracts, MRS Fall Meeting, J4.7, p. 276, Boston, Massachusetts, November  
29-December 3, 2004.

##### ② 「デジタルフォトニクス」に関する啓蒙招待講演

- 1) Yoshiaki Nakano, "Digital photonic devices for all-optical networking", Materials and Devices for Optical and Wireless Communications (Part of SPIE's Asia-Pacific Optical and Wireless Communications Conference, APOC'02), Paper 4905-02, Shanghai, China, October 14-18, 2002.

- 2) 中野義昭, "フォトニックネットワークにおけるデバイス技術の動向 - デジタル光デバイスに向けて (Trends of device technologies for photonic networking -toward digital photonic devices)", 電子情報通信学会技術研究報告(フォトニックネットワーク研究会), PN2003-9, p. 1, 2003年9月2-3日.
- 3) 中野義昭, 竹中充, 宋学良, 清水大雅, "半導体能動導波路に基づくデジタルフォトニックデバイス (Digital photonic devices based on semiconductor active waveguides)", 電子情報通信学会技術研究報告(光エレクトロニクス研究会, LQE共催), OPE2003-213, p. 85, 2003年12月18-20日.
- 4) Yoshiaki Nakano, "Semiconductor integrated digital photonic devices", Meeting Abstracts, 206th Meeting of the Electro-Chemical Society, Symposium N1, Paper 1434, Oahu, Hawaii, October 3-8, 2004.
- 5) 中野義昭, "ナノテク研究の新動向 : デジタルフォトニクス (New trend in nano-technology: digital photonics)", 電子情報通信学会「次世代ナノ技術に関する研究専門委員会」第2回研究会講演資料集, p. 35, 2004年11月25-26日.

#### (5)その他特記事項

終盤に得られた半導体光アイソレータ試作開発に関する成果は、技術移転の問い合わせが多く、今後発展研究プロジェクトの中で実用化に展開する可能性が高い。

## 7. 結び

ロバストかつスケーラブルなフォトニックネットワーキングを可能にする基本デジタル光デバイス群、即ち、光論理ゲート、光フリップフロップ、集積化光アイソレータの提案と試作実証を行い、デジタルフォトニクスの基盤を構築することができたと考えている。今後は、得られた光非相反導波路を武器に、単原子層界面制御／集積プロセス技術を磨いて、デジタル光デバイスのモノリシック集積回路化を進めて行くことが重要である。

[研究計画の達成度] 3章に記載した通り、単原子層MOVPE技術、集積選択MOVPE成長技術、ドライエッチング技術、四元混晶磁性半導体、半導体光アイソレータ研究、全光論理ゲート、全光フリップフロップ、半導体光アイソレータ、超構造ファイバプラググレーティング、光ファイバー波長変換などの研究課題で十分な成果が得られ、当初の研究計画は概ね達成できたものと考えている。ただし、材料プロセス・デバイス成果の回路システムへの展開に関して、一部不十分な点があったことは否めない。他方、カーボンナノチューブを可飽和吸収体に用いるアイデアは当初計画したものではなく、本プロジェクトに関連する新展開であった。

[科学的、技術的意義] MOVPEのメカニズム解明と制御を通じて、MOVPEの技術レベルを格段に向上した点、スピントロニクス研究者に新たな問題を提起する先導的研究成果を生んだ点、デジタルフォトニクスで基本となる全光論理ゲート、全光フリップフロップ、半導体導波路型光アイソレータを提案、試作、実証した点、光ファイバベースの独創的なデジタル光デバイスを生み出した点、カーボンナノチューブの光デバイス応用を見いだした点、以上総じてデジタルフォトニクス概念を提唱し、その基本となるデジタルフォトニックデバイス群を提案、試作、実証した点で、科学的、技術的意義が大きいと考える。

[国内外の類似の研究成果と比較した研究成果の水準] デジタルフォトニクスをテーマとした材料からサブシステムまでの研究は、国内外見渡しても他に類例がなく、独自性が高いと考えている。

[今後の展開見込み、科学・技術や社会への波及効果] ここで得られた成果は、今後MOVPEのT-CADを可能にする基盤として、広く社会に波及して行くものと考えている。またここで得られたデジタルフォトニックデバイスは、全光パケット処理を行う基本デバイスとして、今後広く認知されて行くものと考える。一方、初めて半導体導波路型光アイソレータを実現したことは、今後の光エレクトロニクスに大きなインパクトを与える。さらにカーボンナノチューブはナノテク材料の一代表であり、その光デバイス応用の道を拓いた本成果は、今後長く引用される重要な成果と言える。総じて、デジタルフォトニクスを実現する基盤を、材料・プロセスの側面、デバイスの側面、サブシステムの側面から総合的に構築したものであり、チーム全体の成果として今後の科学技術および高度情報化社会に波及効果が大きいと考えている。

[チーム全体としての研究活動] 本プロジェクトは東京大学の中堅・若手教員のチームであり、講座の壁を越えて相互に協力することにより発揮されるシナジー効果を

狙った。霜垣グループは、チーム全体目標のデジタルフォトニックデバイスの作製に必須のプロセス技術を研究開発し、それらは実際にデバイスの試作に利用された。田中グループの磁性半導体材料自体は、プロジェクト年限内にはデバイス化できなかつたが、磁性金属による非相反損失シフト光アイソレータについては、その主要研究者の輩出も含め、チーム全体に大きく貢献した。中野グループは、チーム全体目標であるデジタルフォトニックデバイスを主導的に研究開発し、全光論理ゲート、全光フリップフロップ、光アイソレータの試作開発など、全体成果の中核を形成した。土屋グループは、全光インバータなどデジタルフォトニクス成果の一翼を担つた。山下グループは、光ファイバに基づくデジタルフォトニクスの中核的成果を生み全体目標に貢献した。

[研究費の額、使用の自由度等] 前年度に多く配分して頂き設備が揃えられたので、研究が円滑に進捗した。最近のCOE21プログラムでは普通になってきた大学院生への謝金を、本プロジェクトでは先んじて支出できるようになったことは研究の活性化に役だった。とはいって、設備、原料・消耗品にかかる費用が構造的に多く、一方でポストドク研究員を多数雇用したい要求もあり、両方を満たすのに苦慮する局面もあった。人件費の自由度が開始時に比べ幾分減じた印象があった。

[外部発表、特許出願、技術移転、起業化等] チーム全体として、外部発表、特許出願は順調だったと考えている。ただし技術移転、起業化はこれからの課題である。カーボンナノチューブのモード同期レーザ応用は、ベンチャー企業への技術移転が進みつつある。

#### 参加メンバー

研究代表者 中野義昭（東京大学・先端科学技術研究センター・教授）



研究分担者 霜垣幸浩（東京大学・工学系研究科・マテリアル工学専攻・助教授）



研究分担者 田中雅明（東京大学・工学系研究科・電子工学専攻・教授）

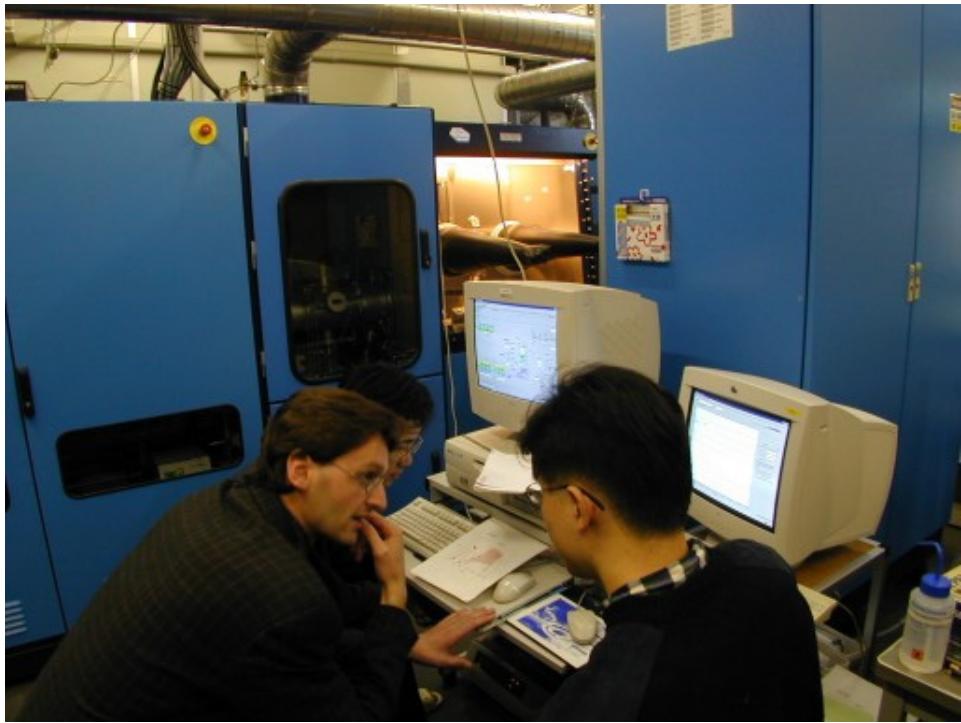


研究分担者 土屋昌弘（元 東京大学・工学系研究科・電気工学専攻・助教授）



研究分担者 山下真司（東京大学・工学系研究科・電子工学専攻・助教授）

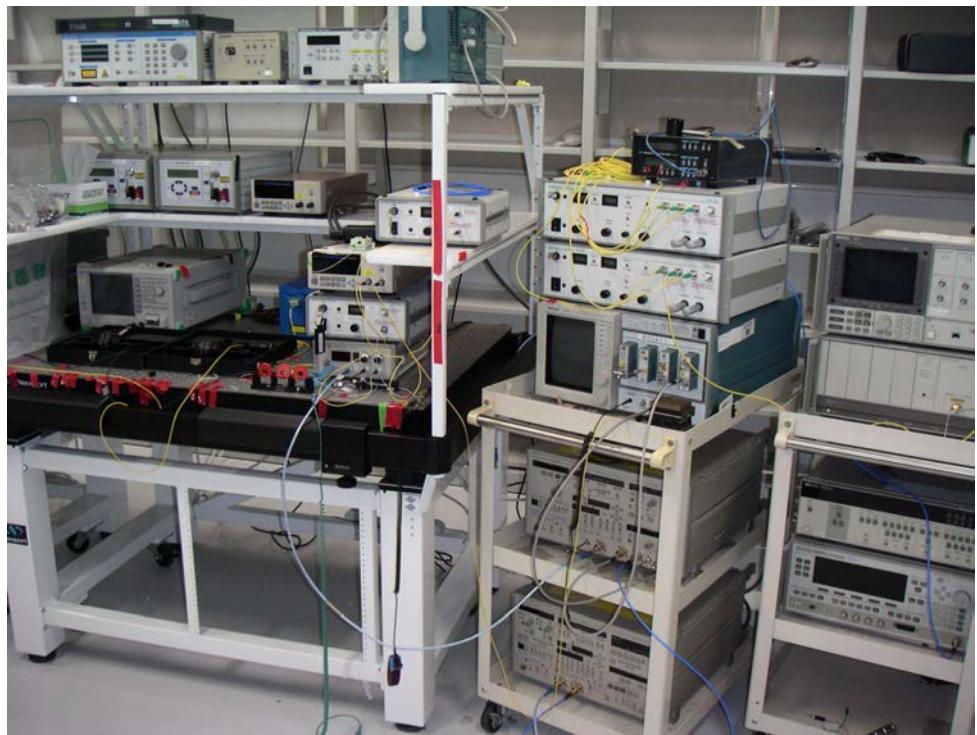




導入設備 有機金属気相エピタキシャル成長装置の前で実験を行う  
CREST雇用研究員 脇と大学院生.



導入設備 多機能X線回折装置



導入設備 デジタルフォトニックデバイス測定装置群



電極形成用電子ビーム蒸着装置と研究員