

研究課題別評価

1. 研究課題名 : ミクロ安定化半導体スーパーヘテロ界面の高度光機能化
2. 研究者氏名 深津 晋
3. 研究の狙い :

本研究では、従来の枠組みを越えて極性の異なる半導体同士をエピタキシャル接合する可能性の追求からスタートし、物質横断型の新しい半導体ヘテロ界面 (スーパーヘテロ界面) の構築とともに、III-V 族/IV 族スーパーヘテロ界面によってもたらされる新たな光機能の開拓を目指した。

4. 研究結果 :

- 1) スーパーヘテロ界面と自発形成量子ドット III-V 族(III=Al,Ga,In, V=P,As,Sb)とIV 族(Si)半導体は、結晶系および格子定数が著しい不整合の関係にある。このためエピタキシャル成長過程におけるスーパーヘテロ界面は潜在的に不安定となり、Si 基板上的 III-V 族半導体が弾性的歪緩和に伴って排他的に凝集する結果、ピラミット形状の量子ドットが自発形成することがわかった。量子ドットのサイズ、分布、密度、結晶配向は、基板温度、III/V 供給比をパラメータとして制御可能である。
- 2) アンチ電子量子ドットの高輝度蛍光 計算・実験の両方から、III-V/Si のバンド接続が、一般的にタイプII 型となることが判明した。したがって Si 障壁中の III-V 族ドットは、アンチ電子ドットとして機能し、光学遷移は間接遷移特性を維持する。蛍光スペクトルは、ホールの量子閉じ込めを反映して Si サブギャップの波長帯に広がったバンドを形成するが、特定組成の量子ドットの蛍光強度は特に高く、赤外カメラによるイメージングが可能なほか、Si 系物質としては記録的な量子効率を得た。
- 3) スーパーヘテロ界面近傍における電子強局在の検証 高輝度蛍光は、スーパーヘテロ界面近傍における Si 中の電子の局在化に起因することがわかった。局在状態の発生は界面自発分極に由来し、局在性は低散逸性を説明する。励起スペクトル測定からは、局在準位が緩和パスを通じて Si バンド端と直結していることがわかった。
- 4) 高度光機能性の探索 スラブ構造に端面からシグナル光を入射し、量子ドットを含む領域を可視光パルスレーザによって励起したところ、特定組成の量子ドットにおいて光利得の発生を示唆する結果が得られた。この結果は、Si 障壁中の III-V 族ドットが、Si 系の近バンド遷移の光増幅器として機能する可能性を示す。

5. 自己評価 :

当初の目的どおり、族横断型ヘテロ構造の構築と、界面の特異性を利用した物性機能の発現を検証するとともに、物性に関するいくつかの新たな知見を得ることができた。とくに、バンド接続がタイプII となるために電子が Si に押し出される効果は Ge/Si でも同様に観測されるのであるが、III-V 族半導体/Si スーパーヘテロ界面の場合、同効果が、界面近傍への電子強局在を通じて Ge/Si では達しえない高輝度蛍光発生をもたらしたことは興味深い。

上記の成果は、Si 系物質の物性制御の分野に新たな展開を与えるものであり、重要な貢献ができたと考えている。しかし一方で、Si 系物質の物性改変という観点からは、光利得発生における電子の反転分布形成の検証など、いまだいくつかの検討の余地が残されており、これらは今後の課題としたい。

6. 研究総括の見解：

異なる半導体物質をエピタキシャルに接合した新しい半導体ヘテロ界面を構築し、それから生まれる光機能の開拓を目指した研究である。結晶系や格子定数が著しく異なる半導体同士の界面は不安定であることの結果として、ピラミット型の量子ドットが自発的に生成したことを見出している。この系はきわめて高い蛍光強度を示し、量子効率が著しく大きい。そして、高輝度発光はスーパーヘテロ界面近傍における Si 中の電子の局在化によると結論している。これらの成果は、Si 系物質の物性制御の分野に新たな展開を与えるものと期待される。

7. 論文等：

- 1) D.Hippo, Y.Sugawara, Y.Kishimoto, K.Kawamoto, and S.Fukatsu
Laser-Induced Photoluminescence Enhancement in a Room-Temperature Emitting SiGe-Based Alloy Quantum Well, Jpn.J.Appl.Phys. 41, L1449 - L1451 (2002).
- 2) 特許： 1 件
- 3) 招待講演：国内学会 1 件