

## 研究課題別事後評価結果

### 1. 研究課題名:

高性能・超低電力短距離ワイヤレス可動情報システムの創出

### 2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点):

研究代表者

黒田 忠広(慶應義塾大学理工学部 教授)

主たる共同研究者

藤島 実(広島大学先端物質科学研究科 教授)

染谷 隆夫(東京大学大学院工学系研究科 教授)

高宮 真(東京大学大規模集積システム設計教育研究センター 准教授)

### 3. 研究実施概要

本研究課題では、高性能・超低電力短距離ワイヤレス可動情報システムを、従来技術に比べて、2桁高速かつ3桁低電力で実現することを目的に、以下の4つの研究テーマを設定した。

- 1) 磁気結合チャネルを用いたチップ間通信で100mW/10Tbps
- 2) 60GHz帯を用いた偏波変調パルス通信方式の端末間通信で10mW/10Gbps
- 3) オールモスト・デジタル無線の端末間通信で1mW/100Mbps
- 4) 給電シートで移動する端末に無線給電を行うことを可能にする。

テーマ1)では、初年度にバイフェーズ方式やデジタイズ・チェーン技術により送受信電力を従来の1/10以下にまで削減。2年目はパルス波形最適化技術により送受信電力を0.14pJ/bにまで削減し、従来技術の1/100以下の低消費電力化を達成。3年目にはバースト転送技術で11Gbps/chのチップ間通信を実現。4年目は電荷再利用技術で65fJ/bを達成。最終年度は、電源電圧の低電圧化で100mW/10Tbps(10fJ/b)を達成し、従来技術に比べ1/1000の低消費電力化を達成した。

テーマ2)では、パルス通信方式により従来のキャリア通信に必要であったキャリア周波数生成用の局部発振回路を取り除き、送信回路ではON/OFF比を高めたミリ波スイッチング技術、受信回路ではパルス検出技術で、最終年度にミリ波帯送受信器としては世界最小電力81mW/10Gbpsを達成し、当初の最終目標である10mW/10Gbpsをほぼ達成した。

テーマ3)では、無線回路をデジタル化し、送信回路ではデジタル波形整形技術、受信回路ではサンプリング相関技術により世界最小レベルの低電力インパルスUWBトランシーバを実現。最終年度には妨害波耐性を向上するアレーサンプリング相関回路の研究でUWBトランシーバとして世界最小電力100Mbpsを0.41mWを達成し、当初目標以下での低消費電力動作を達成した。

テーマ4)では、大面積かつフレキシブルな有機ワイヤレス給電シートの低電力化を追求した。30×30cm<sup>2</sup>の寸法の有機トランジスタを用いた給電シートを印刷法によって試作し、位置検出技術の活用で効率80%、最大40Wの伝送を可能とした。また、電力供給のルートをプログラムするために有機フローティングゲートトランジスタ型の不揮発性メモリを作製し、非破壊読み出しのメモリマトリクスを実現した。駆動電圧はプロジェクト開始時の40Vを最終年度に2Vにまで低減した。

### 4. 事後評価結果

#### 4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果(論文・口頭発表等の外部発表、特許の取得状況等を含む)

研究実施概要でも述べている通り、本研究課題では、高性能・超低電力短距離ワイヤレス可動情報システムの創出を目指して、チップ間通信、端末間通信、無線給電の3分野において達成すべき明確な数値目標を掲げた4つの研究テーマ、すなわち

- 1) 磁気結合チャネルを用いたチップ間通信で100mW/10Tbps
- 2) 60GHz帯を用いた偏波変調パルス通信方式の端末間通信で10mW/10Gbps

3) オールモスト・デジタル無線の端末間通信で1mW/100Mbps

4) 大面積かつフレキシブルなワイヤレス給電シートの低電力化、を設定した。いずれも転送速度当たりの消費電力を従来技術に対して1/1000に低減させるという本領域の掲げる数値目標の方針に従った極めて高い目標であったにもかかわらず、この4つの研究テーマのすべてにおいて、それぞれが世界最高水準の成果を産み、当初の目標を達成した。もしくはそれに近い成果を達成した。全体として今後の更なる展開が期待できる理想的な研究成果と高く評価できる。

磁気結合チャネルを用いたチップ間通信では、最終年度に当初の最終目標であった100mW/10Tbps(10fj/b)を達成し、従来技術に比べ1/1000の低消費電力化を達成した。その結果、三次元集積回路技術の今後の方向性を与える基盤技術を確立したと評価できる。また、結合共振を利用したクロック配信なども三次元チップ実現の基盤技術となることが期待される重要な成果と評価できる。

偏波変調パルス通信方式の端末間通信では、最終年度においては、ミリ波帯送受信器としては世界最小電力となる81mW/10Gbpsを達成し、当初の最終目標である10mW/10Gbpsをほぼ達成した。

オールモスト・デジタル無線の端末間通信では、UWBトランシーバとしては世界最小電力である100Mbpsを0.41mWで達成し、当初の最終目標を超える1mW/100Mbps以下の低消費電力動作を達成した。

ワイヤレス給電シートでは、30×30cm<sup>2</sup>の寸法の有機トランジスタを用いた給電シートで効率80%、最大40Wの伝送を可能とした。また、プロジェクト開始時には駆動電圧が40Vであったのに対し、最終年度においては駆動電圧を2Vにまで低減した。

研究成果の発表を権威ある重要な国際会議や論文誌で活発に行ったことは高く評価される。本研究課題全体として、51件の原著論文発表、174件の国際会議発表、145件の国内学会発表を行った。原著論文発表では、インパクトファクターの高いIEEE JSSCやApplied Physics Lettersに20件以上の論文が採択された。国際会議発表では、半導体回路系国際会議の最高峰とされるISSCCで10件、VLSIシンポジウムで15件の論文が採択された。関連する知的財産権については、国内、海外ともに16件の特許を出願している。

研究成果に関する28件の新聞報道発表の内、日本経済新聞/日経産業新聞には13件の成果発表に関する記事が掲載されており、社会的にも高い関心を集めた。

#### 4-2. 研究成果の科学技術や社会へのインパクト、戦略目標への貢献

4つのテーマのいずれも世界最高水準の性能でそれぞれの高い目標を達成しており、領域の戦略目標への貢献は大きい。特に磁気結合チャネルを用いたチップ間通信で達成した性能当たり消費電力は世界の現在の水準を2桁もリードしており、オリジナリティも高く、科学的、技術的インパクトは極めて大きい。また、三次元集積回路チップ間通信の基盤技術を確立した点も高く評価される。広い応用が期待でき、技術の質的なレベルや重要度は極めて高い。ミリ波パルス通信に関して、応用面は従来から提案されているような機器間通信のようなものになると思われるが、世界最小電力を達成しており、その科学的、技術的インパクトは大きい。オールモスト・デジタル無線の研究は、得られた低電力性能は非常に高いが、科学的、技術的インパクトは標準である。給電シートは、オリジナリティが高く、科学的、技術的インパクトは大きい。

課題全体として、当初4つのテーマ・グループのシナジー効果が十分に発揮されるか心配されたが、結果的には、研究代表者の優れたリーダーシップのもとで、我が国を代表する若手研究者が異なるテーマでそれぞれの目標達成を競い合ったシナジー効果が優れた成果につながったと評価できる。個々の研究成果はそれぞれが独立した大型プロジェクトとなり得るような世界トップレベルの研究であり、今後、成果の更なる展開が多いに期待できる。

#### 4-3. 総合的評価

本課題の成果は世界最高水準にあり、独創性も高く、科学的、社会的インパクトは極めて大きいと評価できる。当初掲げた目標は極めて高い挑戦的なものであったにもかかわらず、4テーマのうち2テーマで目標を達成した。また目標達成がやや不明確なテーマの研究成果も世界のトップレベルの水準にあり、今後、応用分野での展開に期待が大きい。本研究課題の成果は本領域の戦略目標達成に大いに貢献すると評価できる。既にマスコミにも大きく取り上げられているなど、本研究課題の成果に対する企業や社会の関心を高く、総合的に極めて高く評

価できる内容である。

CREST 領域の研究課題として理想的な成果を挙げており、これを今後日本の競争力強化にどのようにつなげるかを考えることが重要である。磁気結合チャネルを用いたチップ間通信の成果は三次元集積回路に対して一つの大きな方向性を与えているので、今後、この成果を世界的な標準にまで持って行くような国を挙げての支援と産業界の協力が望まれる。