

# 基礎研究が拓くポストスケーリング時代

## Post-scaling Age opened up through Basic Research

○JST さきがけ「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」研究総括 佐藤 勝昭

Research Supervisor of JST PRESTO Project “Materials and Processes for Next Generation Innovative Devices”, Katsuaki Sato

E-mail: katsuaki.sato@nifty.com

現在、生活のすみずみに使われている半導体デバイスにおいて主流となっているのは、シリコン CMOS 集積回路です。CMOS はこれまで、スケーリング則に従って性能向上が進んできました。しかし、環境やエネルギー消費に配慮しつつ高度な情報の処理・蓄積・伝達を実現するには、新しいコンセプト、新しい材料、新しいプロセスに基づいたデバイスの創成が不可欠になっています。このためには、基礎研究に立脚して新しいコンセプトを切り拓かなくてはなりません。このシンポジウムでは、ポストスケーリング技術に挑戦する FIRST プログラムや JST CREST プログラム代表と JST さきがけ研究者たちの研究成果の発表と交流を通じて、ポストスケーリング時代のデバイス研究の展望を図ることを目的として企画されました。

私は、JST さきがけ「革新的次世代デバイスを目指す材料とプロセス」研究総括として、この領域の第 2 期生である 10 名の研究者たちの研究成果を紹介します。

**光配線**を目指す半導体のプロセス・イノベーションに進展がありました。**竹中研究者**は、界面制御がむずかしいとされたゲルマニウムについてプロセスの革新を行い、nMOSFET において世界で初めてシリコンを超える移動度を達成しました。また暗電流の極めて少ないフォトダイオードをシリコン基板上に実現し、光配線へのステップを一步進めました。**寒川研究者**は、光配線のための高放熱、高輝度基板材料として窒化アルミニウムに注目し、結晶成長プロセスの基礎研究を通じて窒化アルミニウムの低転位密度の単結晶成長に道筋をつけました。

**量子情報処理**に向けたアプローチも行われました。**中岡研究者**は、インジウムガリウムヒ素系量子ドットを使用した単電荷光機能デバイスを用いて、量子もつれ状態を実現するために重要なカスケード発光現象を確認したほか、ゲート制御による波長可変単一光子発生源となる可能性を示しました。**水落研究者**は、ダイヤモンドにおける窒素不純物と空孔との複合欠陥である NV 中心が室温で電流注入によって単一光子発生源として動作することを世界で初めて発見したほか、核スピンと電子スピンを結合した多量子ビット量子演算デバイスへの道を開きました。また、NV スピンと超伝導量子ビットとの量子もつれ状態を確認する NTT の実証実験に協力しました。**川山研究者**は高温超伝導体のナノブリッジを用いた光生成磁束量子デバイスの実現にチャレンジしています。ナノブリッジ素子はジョセフソン接合素子に比べ高集積化が可能ですが、現在光応答速度を高めるための構造制御を行っている段階です。

**スピントロニクス**についても大きな進展がありました。**浜屋研究者**は、シリコンベースのスピントロニクスデバイスに挑戦し、MOSFET 構造の 3 端子デバイスにおいて室温でスピン信号をゲート電圧変調できることを明らかにしました。また、この過程でスピン信号が観測できるためにスピン流電動が起きている必要はなく、電極の検出感度に依存するという事実を明らかにしました。**福村研究者**（2 年目終了時点で FIRST に採択）は、コバルト添加酸化チタンが室温において強磁性半導体特性を示すこと、室温において低い印加電圧によって磁気特性が制御可能であることをイオン液体を用いた電圧印加実験を通じて初めて明らかにしました。**小林研究者**は、量子スピンホール効果をもつ系における熱ホール効果の研究に取り組み、スピン軌道相互作用の大きなビスマスにおいて、あらゆる材料の中で最も大きな熱ホール効果を発見しました。

**ナノ界面制御**による新しい機能性発現を目指す研究も重要なテーマです。**片山研究者**は、ワイドギャップ窒化物半導体を非線形光学デバイスとして用いるために必要な位相整合構造作成に取り組み、平坦性の極めて高い誘電体の成膜条件を確立しました。**須崎研究者**は、異種の極性ワイドギャップ酸化物の接合界面制御による機能性発現に挑戦し、金/チタン酸ストロンチウムショットキー接合において電流電圧特性に顕著な磁界依存性を発見しました。

以上のように、多くの挑戦が行われ、いくつかの研究課題においては、三年間という短い期間にもかかわらず、ポストスケーリング時代のデバイスイノベーションに向けて大きな手がかりが得られました。また、研究者間の積極的交流も行われました。今後の発展が期待されます。