

研究ステーション研究成果報告書

1. 研究ステーション名 新世代集積システム研究ステーション
研究代表者名（所属部局・職・氏名） 情報理工学研究科・教授・一色秀夫

2. 設置期間
平成 25 年 4 月 1 日 ~ 平成 28 年 3 月 31 日

3. 研究組織（設置期間中かかわった、全ての構成員を記載してください。）
※所属機関・部局・職は現在のもの、もしくは離脱時のものを記して下さい。

< 学内構成員 >

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 先進理工学専攻 教授 一色 秀夫
電気通信大学 大学院情報理工学研究科 先進理工学専攻 教授 上野 芳康
電気通信大学 大学院情報理工学研究科 先進理工学専攻 教授 山口 浩一
電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報・通信工学専攻 准教授 安藤 芳晃
電気通信大学 大学院情報理工学研究科 先進理工学専攻 教授 奥野 剛史
電気通信大学 大学院情報理工学研究科 先進理工学専攻 教授 中村 淳
電気通信大学 大学院情報理工学研究科 情報・通信工学専攻 教授 和田 光司

4. 研究の特筆すべき成果

近年国際学会のランプセッションレベルで、“Heterogeneous Integration”（異種機能集積）というキーワードが盛んに用いられるようになった。これは Si-LSI に光信号処理、生体センサー、MEMS (Micro Electro-Mechanical System) といった異種機能を集積することを提唱している。本研究ステーションは LSI 技術を基盤とした Si 基板をプラットフォームとする異種機能の集積・融合を目的として、ダイヤモンド・デバイスの集積化やシリコンフォトリソグラフィの研究開発を行ってきた。

本研究ステーションでは次世代パワーデバイス・システムの構築を目指し、究極のパワーデバイス材料であるダイヤモンドのデバイス開発を加速する技術を提案した。経産省のロードマップによれば、現在開発が進んでいる炭化シリコン (SiC) パワーデバイスの後継候補として、ダイヤモンド・パワーデバイスの実現が期待されている。ダイヤモンド・デバイスの研究開発はホモエピタキシャル成長が主流となっており、現状ではデバイス開発と並行してダイヤモンド基板の作製・大型化の研究が産総研を中心に進められ、研究開発の期間が非常に長くなると予想される。本提案では、Si 基板上の高配向ダイヤモンド核形成および Si 基板上のダイヤモンド選択ヘテロエピタキシャル成長技術を融合・最適化し、パワーデバイス活性領域となる $\sim 100 \mu\text{m}^2$ の単結晶ダイヤモンドを Si 基板上に選択形成する技術を実現した。この技術により、Si システム LSI とダイヤモンド・パワーデバイスとの集積化、すなわち IPM (インテリジェント・パワー・モジュール) の可能性を先取りし、

ダイヤモンド・パワーデバイス開発期間の短縮，低コスト化が大いに期待されている。

シリコンフォトニクスを利用した半導体チップ間光インターコネクは現実のものとなりつつあり、研究開発は波長多重 (WDM) や光交換を含めた大規模集積に移行することが予想される。一般に光回路素子は利得を持たず、光通信システムを構築する場合、光の再生増幅器として Er ドープ・ファイバ増幅器 (EDFA) が不可欠な存在となっている。次世代シリコンフォトニクスにおいては、さらに“モノリシック集積可能”な再生増幅器の開発が喫緊の課題となる。シリコンフォトニクスのプロジェクトでは、光増幅媒質となる Er シリケート系材料の創製と導波路増幅器の開発、Si 基板上への集積化を進めてきた。Si 基板上に作製した $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ 結晶導波路において 30dB/cm 以上の光学利得が可能であることを実験的に示し、集積化増幅器の実用化が期待されている。

” Heterogeneous Integration ” の期待が膨らむ一方で、どの学会においても“融合”が具体的な形には至っておらず、手探り状態が続いている。本研究ステーションに参加されているメンバーは、半導体デバイス・物性分野だけでなく情報通信や情報処理、量子光学と分野的に多岐にわたり、不定期に討論会 (ブレインストーミング) を行ってきた。本学では改組等の多忙の中、各教員は個々に優れた成果を挙げられているが、ステーション活動を通じて大規模な“融合”といった具体的な成果に至っていない。残念であるがこのことから、” 知のボーダレス ” から踏み込んだ異種分野の融合は一朝一夕には成し得ないことを痛感している。しかし、電通大は異分野が程好い規模で集積されている点が強みであり、研究ステーションが学内における異文化交流の場となることを期待したい。コンピュータシステム内の高速化を原動力として、シリコンフォトニクスを利用した光インターコネクの開発が産学官連携で進められている。“シリコンフォトニクスと量子光学の融合”は、電通大の1つの特徴である“光科学”を生かし、量子光学系をオンチップ集積するといった電通大独自の具体的なアプローチとして今後展開できるのではと考えている。

5. 研究成果の公表実績

一色 秀夫「ダイヤモンド集積デバイス用プラットフォームの作製」平成27年度 JST/電気通信大学 新技術説明会，平成27年5月12日，JST 東京別館ホール

6. 外部資金の獲得状況

なし

7. 発表論文等 (各項目とも、代表的な5件以内)

「招待論文」：

1) H. Isshiki, F. Jing, T. Sato, T. Nakajima, and T. Kimura, “Rare earth silicates as gain media for silicon photonics”, *Photon. Res.* (査読有), Vol.2 (2014) A45.

「論文」：

- 1) T. Nakajima, Y. Tanaka, T. Kimura, and H. Isshiki, "Role of Energy Migration in Nonradiative Relaxation Processes in $\text{Er}_x\text{Y}_{2-x}\text{SiO}_5$ Crystalline Thin Films", Jpn. J. Appl. Phys. 52, 082601(2013).

「招待講演発表」：

- 1) H. Isshiki, "Er silicate waveguide devices for silicon photonics", 2015 International Conference on Optical Instrument & Technology, May17-20, 2015, Beijing, China
- 2) T. Kimura and H. Isshiki, "Er Silicate Waveguides for Compact Optical Amplifiers on Silicon Platform", OSK-OSJ Joint Symposium 2014, August 25-, 2014, Jeju-do, Korea
- 3) T. Kimura and H. Isshiki, "Development of Er Silicates for Optical Emitters and Amplifiers in Silicon Photonics", 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Symposium : I "Rare Earth Doped Advanced Materials for Photonic Applications", September 18-20, 2013, Kyoto, Japan.
- 4) H. Isshiki, " Er Silicate Waveguides for Compact Amplifiers and Light Sources on Silicon Platform", 10th IEEE International Conference on Group Four Photonics(GFP 2013), August 27-29, 2013, Seoul, Korea.
- 5) H. Isshiki, " Er Silicate Waveguides for On-Chip Optical Amplifiers", CLEO-PR & OECC/PS 2013, June 30 - July 4, 2013, Kyoto, Japan.

「学会発表」：

- 1) H. Isshiki, F. Kondow, T. Sugawara, Y. Tsuyuki, G. Nakamura, K. Sakaguchi, and Y. Jiang, "Er Rare-Earth Silicates: Material Synthesis and Applications to Hybrid Silicon Photonics ", MRS Spring meeting 2016, May 28- April 1, 2016, Phoenix, USA.
- 2) G. Nakamura, and H. Isshiki, "Multi-slit coupler for hybrid silicon photonics ", MRS Spring meeting 2016, May 28- April 1, 2016, Phoenix, USA.
- 3) K. Komiya, Y. Soma, R. Kojima and H. Isshiki, "Selective epitaxial growth of diamond on Si (100) substrates by microwave plasma CVD ", MRS Fall meeting 2015, Nov. 29-Dec. 4, 2015, Boston, USA.
- 4) Hideo Isshiki, Kazuki Komiya, and Ryuhei Kojima, "Sharp and intense Si-vacancy center emission from diamond cube selective-grown on Si (100) substrate ", 2013 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2015), Sept. 28-30, 2015, Sapporo, JAPAN.
- 5) H. Isshiki, K. Komiya, R. Kojima, Y. Soma, and T. Shigeeda, "Sharp and intense emission of Si-vacancy luminescent center in diamond film grown on Si (100) substrate", International Conference on Group Four Photonics (GFP2014), August 27-29, 2014, Paris, France.

「特許出願」：

「単結晶ダイヤモンドの製造方法、単結晶ダイヤモンド、単結晶ダイヤモンド基板の製造方法、単結晶ダイヤモンド基板及び半導体デバイス」一色 秀夫，相馬 勇治，小宮 一輝，小島 隆平，特開 2016-050139 (2016/04/11) 日本