

III-V/Si ハイブリッド集積技術を利用した光デバイスの展開

Status and Prospect of Photonic Devices using III-V/Si Hybrid Integration Technologies

西山 伸彦、雨宮 智宏、荒井 滋久

○Nobuhiko Nishiyama, Tomohiro Amemiya, and Shigehisa Arai

東京工業大学 電気電子系, 科学技術創成研究院

Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Institute of Innovative Research (IIR), Tokyo Institute of Technology

E-mail: nishiyama@ee.e.titech.ac.jp

1. はじめに

半導体レーザ光源の主材料である化合物半導体と電子回路の主材料であるシリコンが結びついたハイブリッド集積は、電子集積回路、光集積回路の両方で注目される技術である。シリコンは単元素半導体という特長から加工の容易さ、大規模化の容易さがあり、長い間電子集積回路の主役であったが、移動度など物性面での限界が見えている。そのため、電子集積回路の一部を特性の優れた化合物半導体材料で置き換えることで、性能向上が可能である[1]。一方で光集積回路における化合物半導体は、大規模化という面では難を抱えており、光学利得媒体を化合物半導体のまま維持しながらプラットフォームをシリコンに置き換えることで、その問題を解決可能である[2]。本講演では、特に光集積回路への応用を念頭に、異種材料接合技術やそれを利用したデバイス特性のこれまでを紹介しながら今後の展開を考えたい。

2. 異種材料接合手法

Si 基板と長波長帯材料として一般的な InP 系材料とは大きな格子定数差を有するため結晶成長は困難とされる。近年はメタモルフィックバッファ層と自己形成量子ドットの組み合わせによって良好なレーザ特性が実現されつつあるが[3]、導波路等のパターン基板上の成長や将来的な CMOS との集積におけるプロセス温度など検討項目も複数ある。一方で異種材料接合ではそれぞれを別々に結晶成長、導波路形成を行った後に接合するため、プロセス上の制限は少なくなる。著者らのグループでは二つの方法で異種材料接合を行っている。

一つは、プラズマ活性化接合である。プラズマを異種材料基板に照射し活性化した表面を接合することにより、理想的には異物のない接合界面を実現できる。この方法を利用することで SOI (Silicon-on-insulator) 基板上に形成した Si 導波路と InP 層を一体化した導波モードを形成することが可能となり、Si 導波路への光結合が比較的容易となる。実際我々は、リング共振器を Si 導波路へ装荷したハイブリッドレーザを実現している[4]。また、この方法を用いて Si と InP 系材料の両方の良い物性値を利用することによる MOS 型変調器も近年実現された[5], [6]。

もう一つの接合方法として、BCB (Benzocyclobutene) を糊剤として接合する間接接合 (接着) を利用している。この方法では、表面に多少の凹凸が存在しても構わないため、InP 系材料を再成長したような状態でも接合可能である。この方法を用いることによって我々のグループでは量子井戸を含む薄膜 InP 系材料を Si 基板上に形成し、横方向に電流を流すことによって発振させる薄膜半導体レーザを実現している。上下を空気層や低屈折率層に挟まれた薄膜半導体は、高い屈折率差によって強く光を閉じ込めることができるため低電力で動作可能という特長を有している[7]。

当日の講演ではそれぞれの特性を詳細に紹介する予定である。

謝辞: 本講演で紹介した研究の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)、科学技術振興機構 CREST (JPMJCR15N6)、ACCEL (JPMJAC1603)、JSPS 科研費 (#15H05763, #17H03247, #15J11774, #16H06082) の援助により行われた。

参考文献

- [1] M. Radosavljevic *et al.*, 2009 Int. Electron Devices Meeting, 13.1.1 (2009).
- [2] 西山, 応用物理学会誌, **5**, (2018) 掲載予定.
- [3] A. Y. Liu *et al.*, Appl. Phys. Lett. **104**, 041104 (2014).
- [4] Y. Hayashi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 082701 (2016).
- [5] T. Hiraki *et al.*, Nature Photonics **11**, 482 (2017).
- [6] J.-H. Han *et al.*, Nature Photonics **11**, 486 (2017).
- [7] T. Tomiyasu *et al.*, Appl. Phys. Exp. **10**, 062702 (2017).