

レーザードーピングによる可視発光 Si-LED の開発

Development of Silicon visible light emitting diode by laser doping

東大院工 ○ 山口 真生, 西岡 克紘, 川添 忠, 大津 元一

Univ. Tokyo ○ Maiku Yamaguchi, Katsuhiko Nishioka, Tadashi Kawazoe, and Motoichi Ohtsu

E-mail: yamaguchi@nanophotonics.t.u-tokyo.ac.jp

現在の発光ダイオード (LED) の材料は、主に InGaN や AlGaInP など、発光効率の高い直接遷移型半導体である。これに対して我々は、間接遷移型半導体であるため発光効率は低い、資源が豊富で環境調和性が高く、電子部品の主要な材料でもある Si による LED の研究を進めている。これまでに、Si のバルク結晶に電流を印加しながらレーザーを照射するフォノン援用アニールと呼ばれる加工を施すことで発光を増強し、外部量子効率 15% の赤外発光 Si-LED を実現している [1]。

フォノン援用アニールにより増強された発光の特徴として、通常の LED とは異なりバンドギャップエネルギー (E_g) 以外の光子エネルギーをもつ光を放出できることがある。実際に、同手法を用いてすでに E_g より低エネルギー側の 0.9 eV 帯 [1] に加えて、LED としての応用上重要な可視帯域を含む E_g より高エネルギー側の 1.4 eV 帯 [2]、3.0 eV 帯 [3] で発光する Si-LED が作製されている。しかし、 E_g より高エネルギー側での発光に特有の問題として、光吸収損失の問題がある。すなわち、半導体は E_g より高い光子エネルギーの光を吸収するため、活性層で発生した可視光子が素子外部に放出されるまでに Si 基板により吸収され、光取り出し効率が低くなってしまふのである。

今後可視発光 Si-LED の開発を進めていくためには、この問題を根本的に解決する必要がある。そこで、本研究では E_g より高いエネルギーを持つ光子の光取り出しに適した素子構造と、その作製手法を提案する。具体的には、図 1 の挿入図に示したように横方向に pn 接合を形成し、素子表面付近で発光を起こすことにより光吸収損失を抑えた素子をレーザードーピングにより作製する。

抵抗率 0.5 Ωcm の n 型 SOI 基板に電極として Pt をスパッタリングした後、基板表面に p 型ドーパントの B をドーピングした Si のナノ粒子をスピコートした。これに対して、波長 527 nm、エネルギー密度 4 J/cm²、持続時間 300 ns のレーザーパルス照射することでナノ粒子を溶解させ、バルクの p 層を形成した。以上の素子の IV 特性を図 1 に示す。pn 接合に特有の整流特性を示していることから、レーザードーピングによる p 層の形成を確認した。また、この素子のバンド端発光を規格化し、従来構造の Si-LED と比較したものが図 2 である。新奇構造の EL スペクトルがより高エネルギー側まで伸びているが、これは光取り出し効率向上の効果であると考えられる。さらに、黒矢印で示したように、新奇構造の発光ではフォノンが関与していると思われるピーク列が現れている。今後は、フォノン援用アニールによる可視帯域での発光増強を目指す予定である。

本研究に NanoGram® Si ink を提供いただいた帝人株式会社に感謝致します。

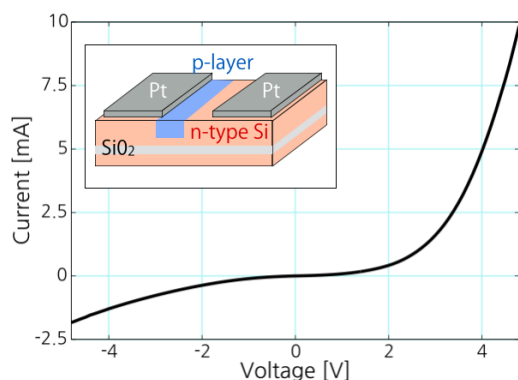


Fig 1: $I-V$ curve and schematic diagram of Si-LED

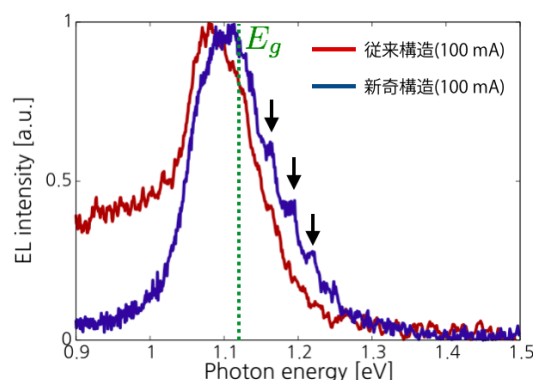


Fig 2: EL spectrum of Band-edge emission

[1] T. Kawazoe et al., Appl. Phys. B, **104**, 747 (2011) [2] M. Yamaguchi et al., Appl. Phys. A, **115**, 119 (2014)

[3] A.M. Tran et al., Appl. Phys. A, **115**, 105 (2014)