

熱拡散法による可視発光 Si-LED の開発

Development of Silicon visible light emitting diode by thermal diffusion

東大院工 ○ 山口 真生, 水島 彩子, 川添 忠, 大津 元一

Univ. Tokyo ○ Maiku Yamaguchi, Ayako Mizushima, Tadashi Kawazoe, and Motoichi Ohtsu

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

シリコン (Si) は資源が豊富でかつ毒性の低い優れた材料であるが、間接遷移型半導体であるため電子正孔対の発光再結合確率が低く、LED やレーザーなどの発光素子には用いられてこなかった。これに対して我々は、フォノン援用アニールという加工法を用いることで、バルク結晶による高効率 Si-LED の開発に成功した [1]。フォノン援用アニールでは、pn 接合素子に電流を印加すると同時にレーザーを照射する。この加工により結晶内の電子正孔対とフォノンの結合を強めることで、間接遷移型半導体において発光を阻んでいる電子と正孔の波数の差をフォノンの波数によって埋めるという原理により高効率の発光が得られる。これに加えて、フォノンのエネルギーを利用することにより発光の光子エネルギーを制御することも可能であり、実際にこれまでに赤外光 (0.9eV 帯域 [1]、1.4eV 帯域 [2])、可視光 [3] を放出する Si-LED が作製されている。

照明や画像表示素子など LED として重要な応用がある可視帯域の発光を Si で実現できれば大きなメリットがあるが、一方で半導体はバンドギャップエネルギーよりも高エネルギーの光を吸収するため、従来の LED 構造では活性層で発生した可視光が素子外部に取り出されるまでに Si 結晶により再吸収されてしまうという問題がある。

この問題を解決するため、本研究では図 1 の挿入図に示したように Si 結晶の表面に pn 接合を形成した横型の新しい LED 構造を用いて可視発光を実現する。この構造では、発光が Si の表面付近で発生するため吸収損失が減り、光取り出し効率が上昇することが期待できる。また、文献 [1]-[3] では p 型ドーパントのボロン (B) をイオン打ち込み法により導入していたが、スループットを向上させるため、今回は新たに熱拡散により p 層を形成する手法を考案した。

デバイス層の暑さ $10\ \mu\text{m}$ 抵抗率 $5\ \Omega\text{cm}$ の SOI 基板の上に市販の B 拡散剤をスピコートし、電気炉にて $600\ ^\circ\text{C}$ で 3 時間ほどベークすることにより図 1 の挿入図のような構造を作製した。IV 特性は図 1 のような整流特性を示し、pn 接合の形成を確認できた。この素子に光子エネルギー 2.33 eV のレーザーを照射しながら順方向バイアス 20 V、15mA を印加してフォノン援用アニールを行った結果、図 2 に示したようにスペクトルのように 1.9eV 帯に発光ピークをもつ赤色発光 Si-LED の作製に成功した。この発光は Si の伝導帯 L 点底付近の電子がフォノンと結合して発光したものと考えられ、同様の過程で発光する文献 [3] の Si-LED と比べておよそ 10 倍ほど高い発光効率を示した。本発表で作製した素子は光取り出し効率の高い構造を持つため、今後アニールの条件を最適化し電子とフォノンの結合をより強め内部量子効率を向上させることで、さらに高効率・広帯域の発光の実現が可能である。

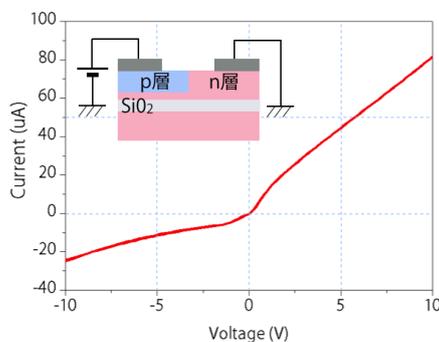


Fig 1: IV characteristic of Si-LED

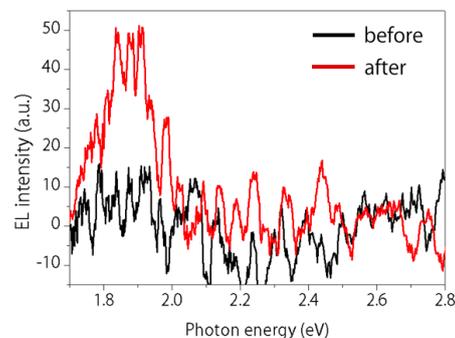


Fig 2: Improvement of EL intensity of Si-LED

- [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)