

シュテファンボルツマン則による Si-LED の注入電流依存性の考察

Consideration of injection current dependence of Si-LED using Stefan-Boltzmann law

電機大¹, 東大院工², ドレスト光子研究起点³, °川添 忠¹, 大津元一^{3,4}
 TDU¹, Univ. of Tokyo², Res. Origin Dressed Photon³, °T. Kawazoe¹, M.Ohtsu^{2,3}
 E-mail: kawazoe@mail.dendai.ac.jp

我々は間接遷移型半導体であるシリコン(Si)を用いたLED, レーザーなど発光素子の開発を行っている[1-4]。その発光原理は通常の直接遷移過程半導体を用いた素子とは異なりドレスト光子フォノンと呼ばれる中間状態を経る。

Si-LED は DPP アニールという方法を用いて作製される。この方法では順方向に印加する電流が起すジュール発熱によるドーパントの拡散促進とそれを抑制する発光(誘導放出)のバランスによって特定のドーパント配列ができる事を利用している。ドーパントは数 nm~数十 nm といった非常に近い距離に隣接するためこの過程によってドーパントの規則的な配置が完成するためには局所的に大きな温度差が生じる必要がある。

Figure1 にアニール途中の Si-pn 接合素子の EL スペクトルを示す。図中の発光スペクトルには大きく分けて2成分が存在し、極めて注入電流依存性の大きい成分とそうでない成分が混在して見られ、通常の分光計測でこれらを分離観測する事は不可能であった。注入電流依存性の大きい成分は Si のバンド間遷移に起因する成分であり、このシフト量から 400℃以上温度変化があると予想される。一方、注入電流によるシフト量の小さい成分は 50℃以下の温度変化に相当するピークシフトしか示さなかった。これらの違いはまさに局所的な温度(差)が存在することを意味している。

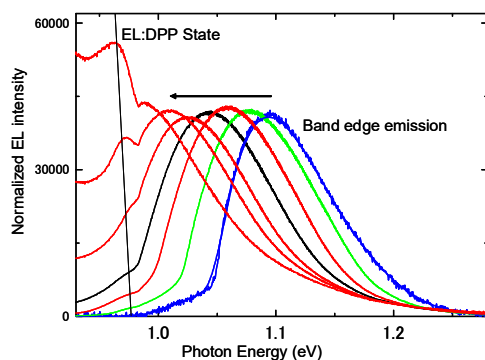


Fig.1

次に DPP アニールされた Si-LED の注入電流依存性を Fig.2,3 示す。閾値後に発光強度は急速に強くなり、その注入電流依存性はほぼ 4 乗に比例する事が分かった(図中破線)。

また、その電流領域での EL 発光スペクトル形状は Fig.3 に示すようにほとんど変わらない。注入電流と素子発熱量はほぼ比例するので素子温度は注入電流に比例すると考えられる。すなわち立ち上がり以後の発光強度は素子温度のおよそ 4 乗

に比例すると考えられる。これは黒体放射におけるシュテファンボルツマン則で理解すると分かりやすいが、EL 発光スペクトル形状がほとんど変わっていない。

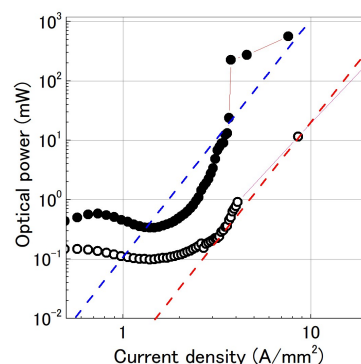


Fig.2

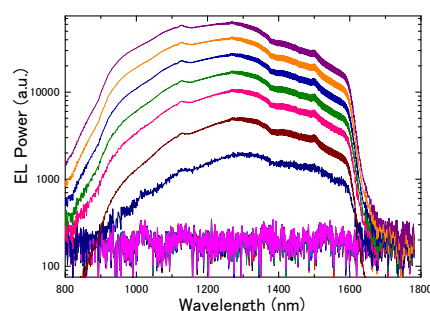


Fig.3

この理由を以下のように考えている。DPP を介した発光においても波数保存則を満たすためのフォノン放射が必要である。そしてフォノン(光子エネルギー<100meV)は赤外線として放射される。この放射率は発光部の局所的な温度決定され、温度の 4 乗すなわち、注入電流の 4 乗に比例する。フォノン放率と電子正孔の対消滅による発光確率は比例するので EL 強度は注入電流の 4 乗に比例する。

発表では上記の過程のより詳細な検討を行う。

[1] T. Kawazoe & M. Ohtsu, Appl. Phys. A, **115**, 127-133, (2014).

[2] T. Kawazoe, et al., Appl. Phys. B-Lasers and Optics, **98**, 5-11 (2010). also **107**, 659-663 (2012).

[3] H. Tanaka, et al., Appl. Phys. B-Lasers and Optics, **108**, 51-56 (2012).

[4] 川添忠, 橋本和信, 杉浦聡, 大津 元一, 2017 年第 78 回秋季応用物理学会, 福岡 講演番号 7a-A405-5.