

Si-LED における電子正孔対とフォノンの結合強度の評価 Evaluation of strength of interaction between electron hole pairs and phonons in Si-LED

東大工, ○山口 真生, 水島 彩子, 川添 忠, 大津 元一

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

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

Si は間接遷移型半導体であるため、発光素子には不適であると考えられてきた。これに対して、我々の研究室では光子と電子正孔対が結合して局在した状態であるドレスト光子 (DP)、またこの DP がさらにフォノンと結合した状態であるドレスト光子フォノン (DPP) という準粒子を素子加工時、動作時に用いることでバルク Si の pn 接合による高効率 LED を作製することに成功した [1]。間接遷移型半導体の Si による LED でも高い発光効率を実現するのは、活性層において発生した DPP を介して、電子正孔対の発光再結合に必要な波数がフォノンから供給されるからである。本発表では、DPP を用いた Si-LED における電子正孔対とフォノンの結合の強さを、Huang-Rhys 因子 S [2] として見積もったので報告する。

Huang-Rhys 因子 S は、電子正孔対とフォノンの結合の強さの指標である。電子正孔対とフォノンの結合が強い系においては発光にフォノンサイドバンドが現れることがあるが、このとき n 次のフォノンサイドバンドの強度 I_n は S によって $I_n \propto S^n / n!$ と表される。これを利用することで、フォノンサイドバンドの強度比から S の値を得ることが可能である。そこで、バンド構造に特異点がないためフォノンサイドバンドの考察に適した光子エネルギー 1.4 eV (波長 0.9 μm) 帯域で発光する Si-LED を作製し、発光を観測した。Fig.1(a) に示した Si-LED の EL 発光スペクトルには、期待通りフォノンサイドバンドが現れた。

このスペクトル形状から S の値を得るため、DPP を介した電子正孔対とフォノンの結合モデル (DPP モデル) を用いたモンテカルロ・シミュレーションにより発光スペクトルを計算し、得られたスペクトルに対してフィッティングした。このモデルでは、DPP を構成するフォノンがマルチモードであること [3] を反映して、電子正孔対に対して LO・TO モードのすべての波数のフォノンが結合するものとした。

シミュレーションの結果求めたスペクトルにも、実験結果と同様フォノンサイドバンドが現れた。これをピークごとに規格化したものを Fig.1(b) に示す。ピーク位置が一致し、スペクトル形状も似ていることからこのシミュレーションの正当性を確認した。次に、 S をパラメータにとり、Fig.1(b) のピーク高さが Fig.1(a) のピーク高さに最もよく合うようフィッティングを行った結果、 $S=4.60\pm0.03$ と求めた。これは通常のバルク Si と比較して 2-3 桁ほど大きい値であり、DPP を介することでの電子正孔対とフォノンの結合の強まりを評価することができた。このときの実験、シミュレーションそれぞれにおけるサイドバンド強度比は、Fig.2 に示すようによく合っていた。

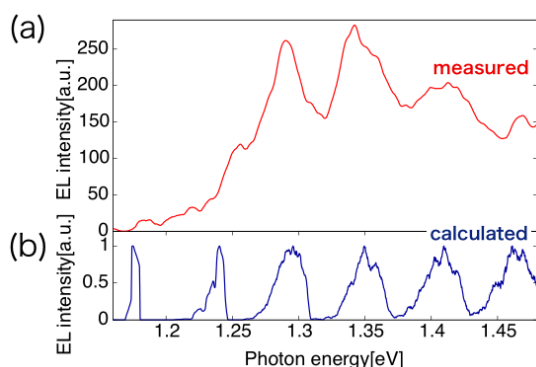


Fig 1: EL spectra (a)measured (b)calculated

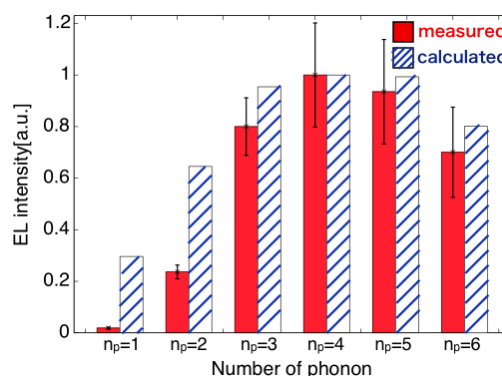


Fig 2: EL intensity of sidebands

- [1] T. Kawazoe, M. A. Mueed, and M. Ohtsu, Appl. Phys. B, **104**, 747 (2011)
- [2] K.Huang, and A.Rhys, Proc. R. Soc. Lond. A., **204**, 406 (1950)
- [3] Y.Tanaka and K.Kobayashi, J. Microsc., **229**, 228(2008)