

ドレスト光子を用いた波長 $2\mu\text{m}$ の Si 発光ダイオードの作製と評価 Fabrication and evaluation of Si light-emitting diode of $2\mu\text{m}$ -wavelength using dressed photons

日亜化学工業(株)¹, 東京電機大², ドレスト光子研究起点³

○門脇 拓也¹, 川添 忠², 大津 元一³

Nichia Corporation¹, Tokyo Denki University², Research Origin for Dressed Photon³

○Takuya Kadowaki¹, Tadashi Kawazoe², Motoichi Ohtsu³

E-mail: takuya.kadowaki@nichia.co.jp

1. はじめに

近年、ドレスト光子技術により間接遷移型半導体の Si 結晶を用いた多様な発光素子(LED、LD など)が報告されている[1]。これらは従来の直接遷移型とは異なりドレスト光子フォノン(DPP)の中間準位(コヒーレントフォノン準位)を介した伝導帯中の電子との運動量授受により発光する。

結晶中に DPP を効率よく発生させるには DPP アニールと呼ばれる製法が使われる。これは所望の発光光子エネルギー(発光波長)に相当する光を照射しながら電流注入によるジュール熱で結晶中のドーパント原子を拡散させ、最適なドーパント分布の自律的形成を促すもので、その結果発光波長は半導体のバンドギャップではなく照射光波長で決まる(光子ブリーディング(PB)効果)。

今回は PB デバイスの例として Si LED を取り上げる。これまでの DPP アニール時の通電による素子電極への損傷などの問題[2]を避けデバイス性能・信頼性をさらに向上させるため、電極形成前にプローバーを用いて DPP アニールする手法を考案し Si LED を作製した。そのうえで波長 $2\mu\text{m}$ 帯の発光スペクトル特性を評価した。これにより PB の機構へのフォノンの寄与を確認したので報告する。

2. 素子作製

n 型の Si 基板に対して、B 原子をイオン注入法で打ち込み p 型に変換した。波長 $2.0\mu\text{m}$ で発光させることを目指し、フォノンの寄与を勘案して波長 $1.3\mu\text{m}$ のレーザー光(パワー1 W)を p 層表面に照射しつつ、両電極間に順方向電流 1.0 A/mm^2 を印加して DPP アニールを行い B 原子を拡散・再配置させた。その後 Fig.1(a)に示すメッシュ状電極を形成し、 $\square 1\text{ mm}$ のチップ化および実装を行い Si LED を作製した(Fig.1 (b))。

3. 結果と考察

作製した Si LED の I-V、I-L 特性の測定結果および発光像を Fig.1(c)に示す。I-L 曲線はスーパーリニア特性を示した。これは発光機構が DPP による誘導放出に起因することを表す独特な結果である。次に、液体窒素冷却の分光器を用いてフォノンに起因する側波帯を高感度評価した。Fig.2(a)の EL スペクトルの結果から波長 $1.3\mu\text{m}$

と $2.0\mu\text{m}$ に明瞭なピークが確認できた(図中の↓)。これらのピークは、DPP アニールによる PB 効果の現れである($1.9\mu\text{m}$ の凹部(図中の↑)は大気中の H_2O による吸収に起因)。すなわち $1.3\mu\text{m}$ のピーク波長は DPP アニール時に照射した波長と一致している。さらに $2.0\mu\text{m}$ のピーク波長は今回目指したもので、結晶中の B 原子濃度で決まる Weibull 分布から計算される波長とよく一致している。これらは運動量保存則を満足するために、Fig.2(b)に示す光学フォノン(エネルギー57 meV) 3個および9個(前者の3次高調波[3])の寄与による側波帯の発光であることが確認された。

今後は各種パラメータの調整により Fig.2(a)の 2 つのピーク特性などのさらなる制御自由度の増加が期待される。

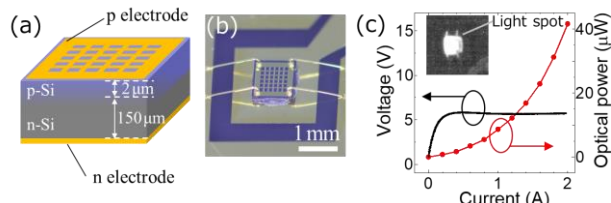


Fig.1 (a) Schematic of the Si LED. (b) Photographic profile. (c) I-V and I-L curves. The inset shows the emitted light spot.

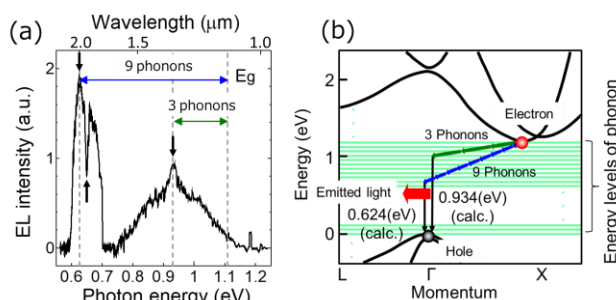


Fig.2 (a) The EL spectrum under a current of 1.5A. (b) The energy band structure of Si for schematically explaining light emission.

【参考文献】

- [1] M. Ohtsu, *Silicon Light-Emitting Diodes and Lasers*, Springer, Heidelberg (2016)
- [2] 川添, 門脇, 大津, 第 66 回応物講演会(2019 年 3 月), 10p-W621-16
- [3] M. Ohtsu and T. Kawazoe, *Adv. Mat. Letters*, **10** (2019) pp.860-867