

## 2準位モデルを用いた SiC-LED の DPP アニールの考察

Discussion on DPP annealing of SiC-LED using the two-level system

ナノフォトニクス工学推進機構, °川添 忠, 大津 元一

東大工, 金 俊亨, 大津 元一

NPEO, °T. Kawazoe, M. Ohtsu, Univ. of Tokyo, J. H. Kim, M. Ohtsu

E-mail: kawazoe@npeo.or.jp

これまでドレスト光子フォノン援用(DPP)アニール法により作製した 4H-SiC(炭化珪素)の pn ホモ接合の近紫外～青又は白色発光ダイオード(LED)、および偏光LEDを報告してきた[1,2]。この手法はSi,GaPなど間接遷移型半導体にも全般に応用されLED、レーザー、受光素子の作製にも用いられている[3]。発光機構にはドープメントの配位が極めて重要であることがSIMS(二次イオン質量分析)や原子プローブ法により明らかになっている[2]。今回、ドープメント原子が結晶中を拡散(移動)する現象論的モデルとして2準位モデル[4]を用いて実験結果の説明を試みたので報告する。

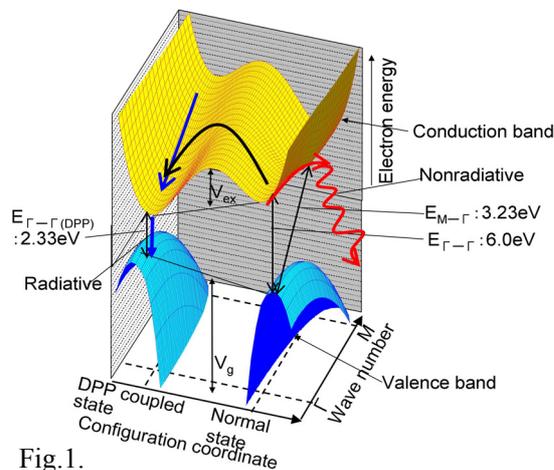


Fig. 1.

2準位モデルは永続的ホールバーニング現象など、光化学変化と電子の物理的移動が混在していると思われる現象を現象論的に扱うモデルである。従来[4]は、配位座標のみを横軸としたポテンシャル図が用いられている。DPP アニールされた LED の発光機構は「コヒーレントフォノンによる散乱によって波数保存則が満たされる。」という説明が必要のため、Fig.1 に示すように波数軸を付け加えたポテンシャル図が有効である。

2準位モデルでは通常の基底状態(ランダムなドープメント分布状態: Fig.1 中 Normal state)は高いポテンシャル障壁  $V_g$  のため室温程度ではほとんど配位座標を移動しない。また、4H-SiC の場合、伝導帯の底はM点にあり、間接遷移のため励起電子のほとんどが非放射緩和する。一方、電子注入や光照射を行っている DPP アニール中は電子のほとんどが Fig.1 中の伝導帯に励起されており、配位座標を変化させるために超えなければならないポテンシャル障壁高さは  $V_{ex}$  となり低くなる。したがって配位座標の変化が起こりやすくなる。DPP アニールにより特異な分布になったドープメントの配位状態 (Fig.1 中 DPP coupled state) では伝導帯の底が  $\Gamma$  点に移動し、そのエネルギーは DPP アニールに

用いた光源の光子エネルギーと同じなり、あたかも直接遷移型半導体のように発光緩和が起こるのである。

Fig.2 に異なる基板温度で行った波長 532nm、強度  $0.2\text{W}/\text{cm}^2$  の光源、12.5mA の電流で行った DPP アニールによる SiC-LED の発光強度増大を EL スペクトルで示した結果である。この発光増大のアニール時間依存性は2準位モデルによる理論計算と一致することが分かっている。

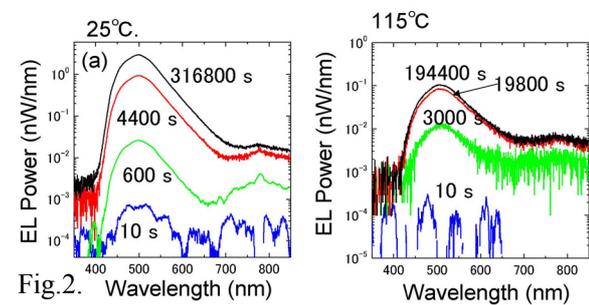


Fig.2. Wavelength (nm)

Wavelength (nm)

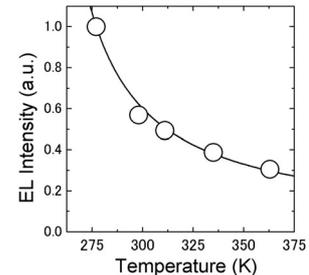
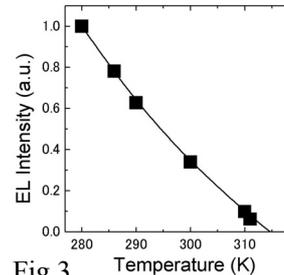


Fig.3 Temperature (K)

Temperature (K)

さて2準位モデルにおいて重要なパラメータである配位空間のポテンシャル  $V_{ex}$  と  $V_g$  は実験から容易に求めることが可能である。例えば、 $V_{ex}$  は DPP アニールの際の素子温度を制御し、どこまで発光強度が増加するかを比較すればよい (Fig.3 中 ■ (曲線は理論曲線))。一方、 $V_g$  は特定の温度で DPP アニールした後に熱のみで素子をアニールし、発光強度の変化の温度依存性を計測すればよい (Fig.3 中 ○ (曲線は理論曲線))。このフィティング結果から、4H-SiC では  $V_{ex}=100\sim 110\text{meV}$ 、 $V_g=530\sim 630\text{meV}$  と求められた。

[1] T. Kawazoe & M. Ohtsu, Appl. Phys. A DOI: 10.1007/s00339-013-7930-x, (2013).

[2] T. Kawazoe, K. Nishioka, & M. Ohtsu, Appl. Phys. A in press.

[3] T. Kawazoe, et al., Appl. Phys. B-Lasers and Optics, **98**, 5-11 (2010). also **107**, 659-663 (2012). also H. Tanaka, et al., Appl. Phys. B-Lasers and Optics, **108**, 51-56 (2012).

[4] R. Jankowiak, R. Richert and H. Bässler: J. Phys. Chem. **89** 4569 (1985).