

ドレスト光子フォノン援用アニールで作製された Si-LED 中のドーパント分布の特徴

characteristics of dopant distribution in a Si-LED fabricated
by the dressed photon-phonon assisted annealing

東大工, °川添 忠, 大津 元一

Univ. of Tokyo, °Tadashi Kawazoe and Motoichi Ohtsu

E-mail: kawazoe@ee.t.u-tokyo.ac.jp

我々はこれまで数多くのドレスト光子フォノン援用アニールによって作製されたシリコン(Si)発光ダイオード(LED)を報告してきた。また、この手法は SiC-LED や Si レーザー、赤外受光素子にも応用されている。[1-4]。これらの間接遷移型半導体を使った LED の発光過程は通常の間接/直接遷移過程とは異なり、ドレスト光子フォノンと呼ばれる中間状態を介して起こり、アニールに利用する光源による発光波長制御や偏光制御[5]が可能である (photon breeding effect)。

作製時、動作時にドレスト光子を利用した受発光素子中の光子は誘導放出過程を介しドレスト光子の持つ物理量を受け継ぐ。この過程の中間状態であるドレスト光子フォノンは素子内のドレスト光子が局在したフォノンと結合し生成されるが、フォノン局在には隣接する2個以上のドーパント原子群を必要である。アニール後の素子が偏光依存性を持つ理由は入射光に反応するドレスト光子フォノンの分極がドーパント原子間の配位関係による方位依存性由来する事で説明される[5]。

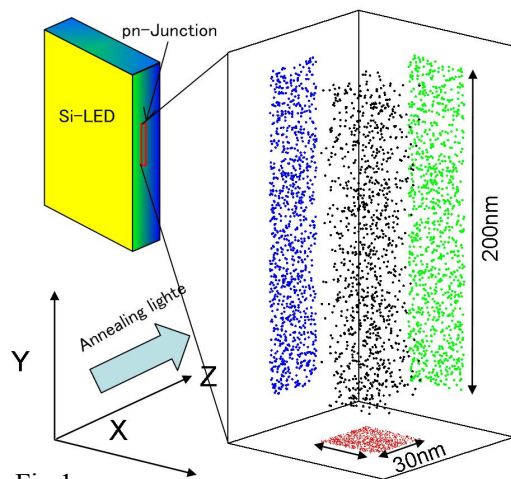


Fig. 1

今回、Si-LED 素子のドーパントボロン(B)原子の空間分布の変化を3Dアトムプローブ法[6]により計測したので報告する。

Fig.1 に3Dアトムプローブ法によって得られた B 原子の空間位置を示すグラフを示す。グラフ中の点が各 B 原子の位置を示す。測定に用いた Si-LED は n 型の Si 基板にイオン打ち込み法によって、 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ の濃度になるように B 原子を導入し、p 層を形成した構造を持つ。B 原子の位置は無秩序な空間分布をしていることがわかる。

ドレスト光子フォノンの生成にはドーパント原子間の

配位関係が重要である。まず最隣接の B 原子間距離を求め、その個数分布を Fig.2(a):アニール前、(b):アニール後)に示す。図中の実線はドーパント B 原子密度のみで決定されるランダムな分布時に得られるワイブル分布である。ドレスト光子フォノン援用アニール前は原子間距離 6nm や 9nm の所にランダム分布から外れた領域が存在するが、これはイオン打ち込みの不均一性に由来する。アニール後は格子定数の整数倍に一致する距離に細かなピークを持つ分布に変化し、全体としてはほぼランダムな分布となっている。

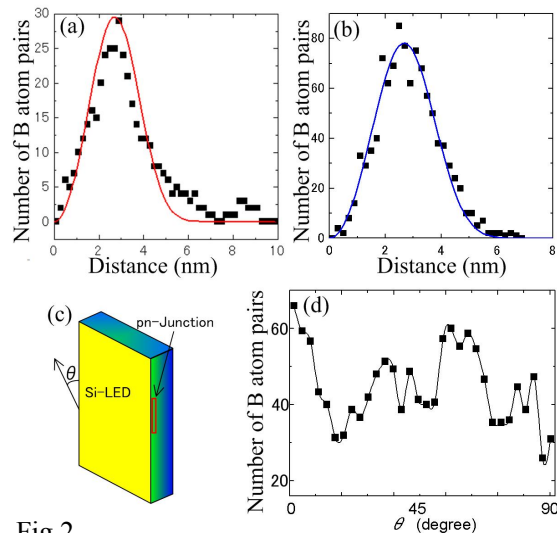


Fig. 2

次に配位関係を示す指標として Fig.2(c)のように Si-LED の発光面に対する角度を θ と定義し、再隣接ドーパント原子の現れる方位分布を Fig.2(d)に示す。 $\theta = 0^\circ$ すなわち発光面に沿った方位に最隣接ドーパント原子が多く整列している事が分かった。発表ではアニールに用いる偏光との関連にも言及する。

[1] T. Kawazoe & M. Ohtsu, Appl. Phys. A, vol.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] M. A. Tran, et al., Appl. Phys. A, vol.115, 105-111, (2014).

[5] T. Kawazoe, Proceedings of IDW 2014, Vol. 21, Niigata, Japan, pp. 1061-1063.

[6] O. C. Hellman, et al., Microsc. Microanal. **6**, 437-444, (2000).