

ドレスト光子フォノン援用アニールされた シリコン中のボロドーパント分布の規則性

Regularity of Boron dopant distribution in a Si-crystal
annealed by the dressed photon-phonon assisted annealing

NPEO¹, 東大工² ○川添 忠¹, 金 俊亨², 大津 元一²

NPEO¹, Univ. of Tokyo ○Tadashi Kawazoe¹, JunHyoung Kim², and Motoichi Ohtsu²

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応答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によって生じる事によって説明される[5]。

これまで 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、そのドレスト光子フォノン援用アニールによってドーパントが一定の規則で配列することを報告している[7]。最近、3D アトムプローブ法による不純物位置同定に関し高い精度の報告もいくつかなされており[8]、より詳細なデータを得るため、測定点数を増やしてドレスト光子フォノン援用アニール前後のボロドーパント配列の変化を 3D アトムプローブ法により計測した。

3D アトムプローブ法によって Si 結晶中の B 原子の空間位置を得るため、あらかじめ計測領域を SIMS にて計測した。測定に用いた Si 基板中の B 濃度は $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ であった。この領域の B 原子の位置を 3D アトムプローブ法によって計測した。

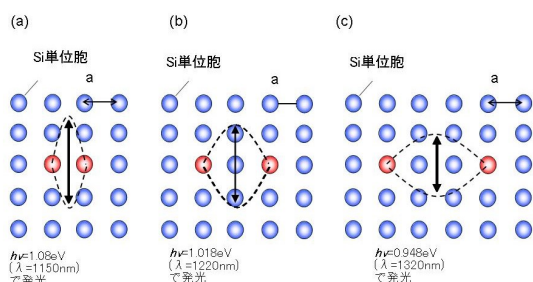


Fig.1

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。この理由はドーパント原子を反射端としたフォノン閉じ込めが起こるからである。例えば、Fig.1 に示したように Si の発光波長と最隣接ドーパント位置は関係づけられる。今回計測に用いた素子は波長 $1.3 \mu\text{m}$ で発光するようにドレスト光子フォノン援用アニールを行ったので、Fig.1.(c)の位置に再隣接ドーパントが配列し易いはずである。

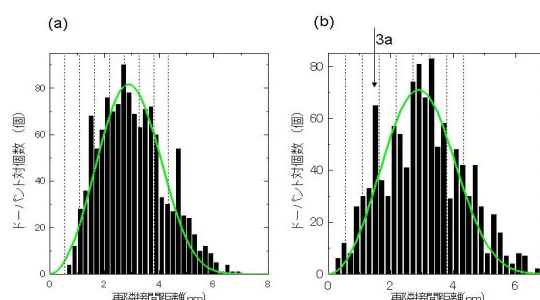


Fig.2

3D アトムプローブの結果から最隣接の 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。図中の緑実線はドーパント 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ほぼワイブル分布に従う。ワイブル分布から外れた領域はイオン打ち込みの不均一性に由来すると考えている。一方、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を保っている。注目すべきは波長 $1.3 \mu\text{m}$ で発光するドーパント対が非常に高い割合で増加していることである(図中、↓)。

[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).

[7] 川添忠、大津元一、第 6 2 回応用物理学会春季学術講演会(2015) 11p-A12-8.

[8] J. M. Cairney, et al., Ultramicroscopy, Vol.159, p324-337,(2015).