

## レーザーアニールを用いた Si 上 Ge pin フォトダイオードの高性能化 (2) High-performance Ge-on-Si pin photodiodes using a laser annealing process (2)

東大院工<sup>1</sup>, 東京エレクトロン<sup>2</sup>

○永友 翔<sup>1</sup>, 菊田 真也<sup>2</sup>, 星野 聡彦<sup>2</sup>, 石川 靖彦<sup>1</sup>

Univ. Tokyo<sup>1</sup>, Tokyo Electron Limited<sup>2</sup>

°Sho Nagatomo<sup>1</sup>, Shinya Kikuta<sup>2</sup>, Satohiko Hoshino<sup>2</sup>, Yasuhiko Ishikawa<sup>1</sup>

E-mail: y-ishikawa@material.t.u-tokyo.ac.jp

Si 上の Ge エピタキシャル層内に発生する高密度( $10^9 \text{ cm}^{-2}$ )の貫通転位を低減することは、高性能な近赤外 Ge 受光器(PD)を実現する上で重要な課題である。貫通転位低減には成長後の高温アニール(800-900°C)が効果的であるが、Ge 中への Si 拡散による SiGe 化[1]を防ぐ必要がある。SiGe 層が形成されると Ge PD の受光効率が低下してしまう。従来の電気炉や RTA によるアニールに比べて、加熱時間を大幅に短縮できるレーザーアニールを検討してきた。近赤外レーザー照射により Ge 層を 10 ミリ秒オーダーで選択的に加熱することで貫通転移低減と SiGe 化抑制を両立し、低い暗電流と良好な受光効率を有する Si 上 Ge pin PD を実現した[2]。今回は、Ge 中に pin 接合を形成した後にレーザーアニールを施し、暗電流や受光特性への影響を調べた。ミリ秒オーダーの急速加熱により、ドーピング不純物の分布を維持したまま、Ge 層中の貫通転位を低減できる可能性がある。

UHV-CVD 法により、 $\text{p}^+\text{-Si}(001)$ ウエハ上にアンドープ Ge 層(600 nm)を 600°C でエピタキシャル成長し、続けて Si 保護層(50 nm)を形成した。その後、P のイオン注入を行うことで Si 保護層および Ge 層上部を n 型化し、pin 構造を形成した。P の活性化アニールは電気炉にて 600°C で行った。続けて大気中で波長 1.07  $\mu\text{m}$  の近赤外 CW レーザーを照射した(~ 30  $\mu\text{m}$  x 4 mm の矩形レーザー光を走査)。レーザー強度は 10 W、走査速度は 1 mm/sec (照射時間は~ 30 ms)であり、10 サイクルの照射を行った。最後に TiN 電極を形成した。

図 1 は室温・暗状態での典型的な電流-電圧特性である。良好な整流性を示し、近赤外レーザー照射後もドーピング不純物(P)の拡散が十分に抑制できていることが示唆される。照射時間を数 10 ミリ秒まで短縮することで、Si 原子のみならず、不純物拡散も抑えられたためと考えられる。レーザー照射によって逆方向リーク電流が低減したことがわかる。逆方向電圧 1 V におけるリーク電流密度は、70  $\text{mA}/\text{cm}^2$  から 40  $\text{mA}/\text{cm}^2$  まで低下し、従来の電気炉アニール(800°C, 30 min)と同等な低いリーク電流密度が得られた。受光スペクトル(垂直入射、逆方向電圧 0.5V)の測定結果を図 2 に示す。1550 nm よりも短波長では、近赤外レーザーアニールの有無に関わらず、理論値(格子ひずみのない Ge)に近い 0.2 A/W 程度の値が得られ、一方、1550 nm より長波長側では、理論値よりも大きな値が得られ、Ge 中の引っ張りひずみが増加したことが示唆される[3]。

以上より、急峻な pin 接合を維持したまま Si 上 Ge 層の結晶性を改善できる近赤外レーザーアニールは、Si 上への Ge PD 作製において有効な技術だと考えられる。イオン注入後の Ge 層にレーザー照射し、ドーパントの活性化を同時に行うといった用途も考えられる[4]。

[1] J. M. Hartmann et al., *J. Cryst. Growth* 312, 532 (2010)

[2] 永友他, 第 75 回応用物理学会学術講演会, 18p-A18-11 (2014)

[3] Y. Ishikawa et al., *Appl. Phys. Lett.* 82, 2044 (2003)

[4] T. Sameshima et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* 47, L1871 (2007)

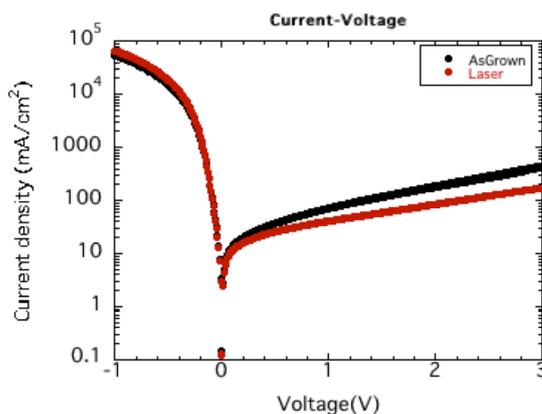


Fig. 1. Typical current – voltage characteristics.

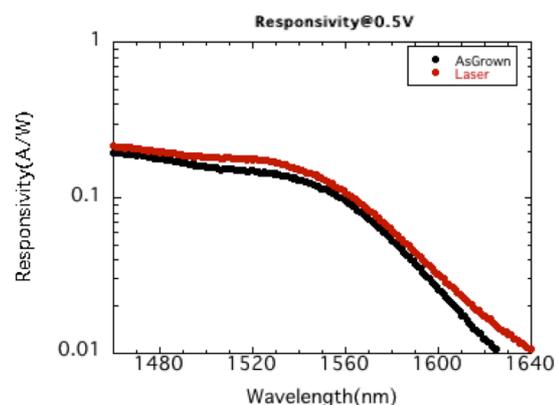


Fig. 2. Responsivity spectra at reverse bias of 0.5 V.