18p-A18-11

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

High-performance Ge-on-Si pin photodiodes using a laser annealing process

東大院工 [1]，東京エレクトロン宮城 [2]，東京エレクトロン [3]
○永友 翔 [1]，川俣 勇太 [1]，井澤 友策 [2]，星野 聡彦 [3]，石川 靖彦 [1]
Univ. Tokyo [1], Tokyo Electron Miyagi Limited [2], Tokyo Electron Limited [3]
○Sho Nagatomo[1], Yuta Kawamata[1], Yusaku Izawa[2], Satohiko Hoshino[3], Yasuhiko Ishikawa[1]
E-mail: y-ishikawa@material.t.u-tokyo.ac.jp

シリコンフォトニクスにおける光通信波長帯(1.3 – 1.6 μm)フォトダイオード(PD)材料として、Si 上 Ge エピタキシャル層が利用されている。Si と Ge には 4%の格子定数差があるため、Ge 中には高密度(10^9 cm^{-2})の貫通転位が発生する。成長後に高温(800°C以上)アニールを施すことにより貫通転位を低減でき[1]、リーク電流が小さくかつ受光効率の良い Ge PD を作製できる。しかし、電気炉やランプ炉を用いたアニールでは Ge 層だけでなく Si 基板も加熱されるため、フロントエンドプロセスへ Ge PD の作製を導入する必要が生じ、従来の Si プロセスを大幅に変更せざるを得ない。本研究では、Si の高温化を抑制するアニール法として近赤外レーザーアニールを提案する。Si 上 Ge PD の高性能化に近赤外レーザーアニールが有効であることを報告する。

UHV-CVD 法により、p^+-Si(001)ウェハ上にアンドープ 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(70 nm)を形成した。その後、大気中で波長 1.07 μm の近赤外 CW レーザーを照射した(スポット径 1 mm のレーザー光を走査)。波長 1.07 μm の光は、Si 中ではほとんど吸収されない(侵入長約 1 mm)が、Ge では強く吸収されるため(侵入長約 0.8 μm)、Ge 層を選択的に加熱できる。典型的なレーザー出力(光学系による損失は考慮していない)は 63 W であり、走査レーザーの通過時間を 12 msec とした照射を 3 あるいは 10 サイクル行った。P のイオン注入により Si 保護層および Ge 層上部を n 型化し、pin 構造とした。P の活性化アニールは電気炉にて 600°Cで行った。最後に Al 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。近赤外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、51.3±0.7 mA/cm^2(近赤外レーザー照射なし)から 23.7±1.4 mA/cm^2(3 サイクル)および 20.4±1.7 mA/cm^2(10 サイクル)まで低下し、800°Cの電気炉アニールと同等な低いリーク電流密度が得られた。近赤外レーザー照射によって Ge が高温となり、貫通転位密度が低減できたと考えられる。垂直入射での受光スペクトルの測定結果を図 2 に示す。1550 nm より短波長では、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 0.15 – 0.22 A/W の値が得られた。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た。Ge と Si の熱膨張係数差に起因する引っ張り格子ひずみによって受光スペクトルが長波長側にシフトしたためと解釈できる[2]。特に、近赤外レーザーアニールによって長波長域の受光効率が一層向上したことがわかる。Ge 中の引っ張りひずみが増加したことが示唆される。

以上より、近赤外レーザーアニールは Si 上 Ge PD の高性能化に有効であり、作製プロセスのバックエンド化に有望であると考えられる。

[1] H. C. Luan et al., *Appl. Phys. Lett*. 75, 2909 (1999).
[2] Y. Ishikawa et al., *Appl. Phys. Lett*. 82,2044(2003).

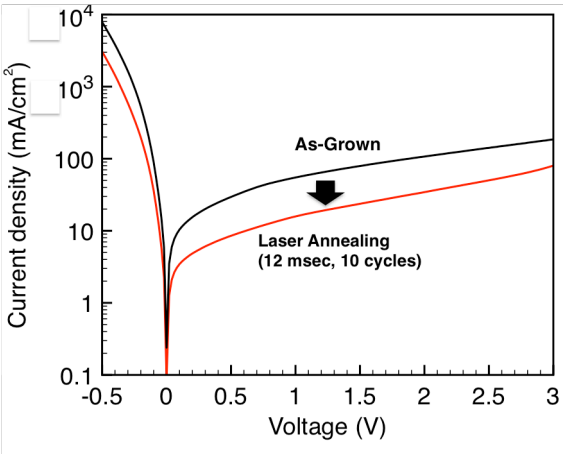

Fig. 1. Typical current – voltage characteristics.

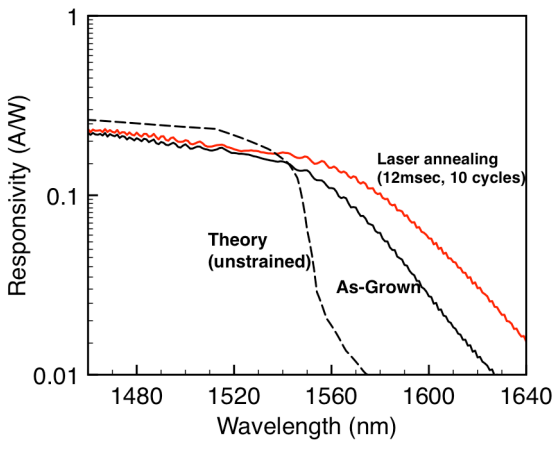

Fig. 2. Responsivity spectra at reverse bias of 0.5 V.

© 2014 年　応用物理学会