

陽電子消滅法による  $n$  型イオン注入 Si の熱処理後残留空孔に関する考察A positron-annihilation study of residual vacancies in  $n$ -type-doped Si after annealing

(株) 東芝 研究開発センター ○河合宏樹、東悠介、中崎靖、石原貴光

Toshiba Corporate R&amp;D Center

○Hiroki Kawai, Yusuke Higashi, Yasushi Nakasaki, Takamitsu Ishihara

E-mail: hiroki2.kawai@toshiba.co.jp

【序】半導体製造プロセスのイオン注入工程では、注入イオンとの衝突により基板の結晶性は一度破壊されるが、高温注入や後熱処理によって回復する。しかし、結晶性が改善されても微量な空孔型欠陥が残存していることが、過去の陽電子消滅実験より確認されている[1,2]。本検討では、空孔型欠陥の欠陥種(サイズ)及び欠陥量と、注入された  $n$  型ドーパント種との相関を検証するため、陽電子消滅実験を行った結果を報告する。

【実験条件】 $p$  型 Cz-Si ウェハに P または As をイオン注入した試料を作成した。P、As の打ち込みエネルギーを各々 100keV、250keV として飛程を揃え、ドーパ量とはともに  $1 \times 10^{13}$  atoms/cm<sup>2</sup> とした。主たるイオン注入ダメージ源として、両試料に更に Si を 100keV で  $1 \times 10^{14}$  atoms/cm<sup>2</sup> 注入した。その後熱処理 (200°C 1h N<sub>2</sub>、300°C 1h N<sub>2</sub>、1100°C 30s Ar) を行い、陽電子消滅測定を行った。測定は室温真空中で、<sup>22</sup>Na 線源の陽電子ビームを 3keV で打ち込み、電子陽電子対消滅で放出される  $\gamma$  線から陽電子寿命を解析した。

【結果と考察】陽電子寿命解析の結果、熱処理なしの試料では、P ドープと As ドープのどちらも ~300ps の陽電子寿命が単成分で得られた。これは、室温で安定な二原子空孔  $V_2$  に相当する[2]。一方、熱処理した試料では、無欠陥 Si 結晶に帰属される短寿命(~220ps)の成分と、空孔に帰属される長寿命(>300ps)成分の二成分が得られた。Fig.1 に長寿命成分の寿命  $\tau_2$  とその相対強度  $I_2$  のアニール温度依存性を示す。 $\tau_2$  から、P ドープと As ドープのどちらもアニールに伴い  $V_2 \rightarrow V_4 \rightarrow V_5 \rightarrow V_n(n>10)$  と空孔のクラスター化が進み、また  $I_2$  から、残存量は徐々に減少していることが分かる。 $\tau_2$  と  $I_2$  から、トラッピングモデル[2]を用いて空孔サイトの陽電子トラップ確率  $\kappa = I_2(\tau_b^{-1} - \tau_2^{-1}) / (1 - I_2)$  を計算した ( $\tau_b$ : 無欠陥 Si 結晶での 218ps)。 $\kappa$  は空孔濃度に比例する値である[2]。Fig. 2 に、各アニール温度での P と As の  $\kappa$  の比  $\kappa_P / \kappa_{As}$  を示す。200°C、300°C では  $\kappa_P / \kappa_{As} \sim 1$  であるのに対して、1100°C の場合には  $\kappa_P / \kappa_{As} = 1.8$  となる。そのため 1100°C アニール後には、P ドープ Si は As ドープ Si に比べて、空孔クラスターが高濃度に残存していることが示唆される。これは前報[3]で得られた「P ドープは  $V_2$  の分解を促進し、空孔のクラスター化 (=低濃度化) を阻害する」という第一原理計算の結果と一致する。

【まとめ】P と As では、As のほうが高温アニール (1100°C 30sec) 後の残存空孔量は少ない。それはインプラダマージの違いではなく、アニール中の空孔欠陥消滅過程に違いがあるためと考えられる。

【参考文献】[1] A. Sagara, A. Uedono, and S. Shibata, IEEE Trans. Semicond. Manuf. **28** (2015) 92 [2] S. Dannefaer, et al., Phys. Rev. B, **73** (2006) 115202 [3] 河合他, 2016 春応物 20a-H113-6

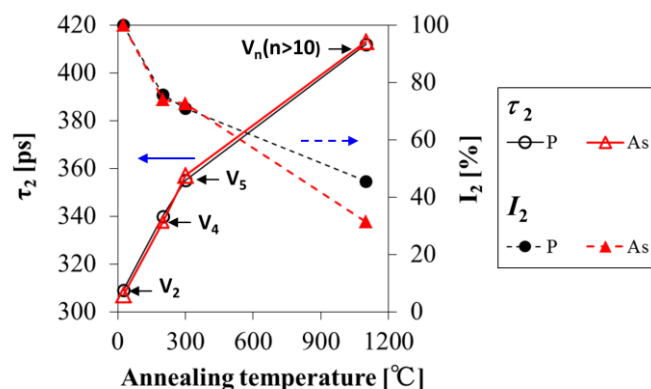


Fig. 1 Positron lifetimes (longer ones in the two components) and their relative intensities varying with annealing temperature.

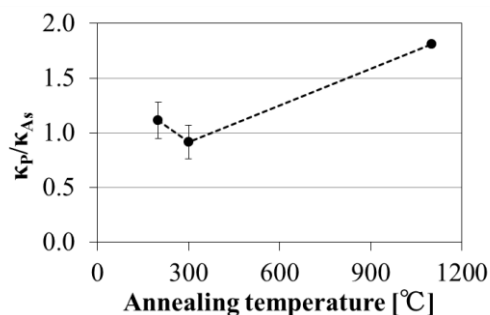


Fig. 2 Ratio of positron trapping rates in P-doped Si to As-doped Si.