

As⁺イオン注入したゲルマニウム層の化学分析—イオン注入温度依存性— Chemical Analysis of As⁺ Implanted Germanium -Implantation Temperature Dependence-

村上 秀樹^a, 小野 貴寛^a, 大田 晃生^a, 橋本 邦明^a, 東 清一郎^a, 宮崎 誠一^b
Hideki Murakami^a, Takahiro Ono^a, Akio Ohta^a, Kuniaki Hashimoto^a,
Seiichiro Higashi^a, Seiichi Miyazaki^b

^a広島大学 大学院先端物質科学研究科, ^b名古屋大学 大学院工学研究科
^aGrad. School of AdSM, Hiroshima Univ., ^bGrad. School of Eng., Nagoya Univ.

これまでに、As⁺イオン注入した Ge 層において、イオン注入時のアモルファス化により生じるアクセプタ型の欠陥生成や As クラスタ形成に起因する活性化率の低下を報告した[1,2]。本研究では、イオン注入時に生じるアモルファス化を抑制するため、異なる基板温度で As⁺イオン注入を行い、イオン注入した Ge 層の結晶構造および電子状態を調べた。その結果、As⁺イオン注入による Ge 表面の非晶質化は、イオン注入時の基板温度の上昇に伴い抑制され、活性化率向上に伴うフェルミ準位のシフトが観測された。

キーワード： ゲルマニウム、トランジスタ、不純物活性化、硬 X 線光電子分光(HAXPES)

背景と研究目的：

Geチャネルn-MISFETの実用化のためには、低抵抗ソースドレインの形成技術の確立が必要不可欠である。PやAsなどのn型不純物では、Bなどのp型不純物に比べて、活性化に高温が必要であり、低抵抗極浅接合の形成が困難となっている。特に、Geへ高濃度のAsイオンを注入した場合において、500°Cの熱処理を行っても、キャリア濃度は $10^{18}\sim 10^{19}\text{cm}^{-3}$ で飽和することが報告されている[1,2]。また、Siへの高濃度As⁺イオン注入に関する研究において、Asクラスタの形成が活性化率低下の主要因であると考えられている[3,4]。不純物の高効率活性化には、このような高濃度不純物導入領域における化学結合状態に関する理解とその知見に基づいた活性化手法を開発する必要がある。

これまでに我々は、As⁺イオン注入したGe層において、イオン注入時のアモルファス化により生じるアクセプタ型の欠陥生成やAsクラスタ形成に起因する活性化率の低下を報告した[1,2]。本研究では、イオン注入時に生じるアモルファス化を抑制するため、異なる基板温度でAs⁺イオン注入を行い、イオン注入したGe層の結晶構造および電子状態を硬X線光電子分光分析を用いて評価した。

実験：

化学溶液洗浄した p-Ge(100)基板(抵抗率:10Ω·cm)上に、表面パッシベーション膜として厚さ~7 nm の SiO₂ を RF スパッタ堆積した後、基板温度をパラメータとして、加速電圧 10 keV、ドーズ量 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ で As⁺イオンを SiO₂ 越しに Ge 基板へ注入した。その後、窒素雰囲気中にて 600°C で 30 分間の活性化熱処理を行った。作成した試料は、ラマン散乱分光法と分光エリプソメトリ(SE)を用いて、結晶性および非晶質化層の厚さを定量評価し、Van der Pauw 法によりシート抵抗とキャリア密度を測定した。さらに、シンクロトロン放射光を用いた硬 X 線光電子分光分析(HARd X-ray Photo-Emission Spectroscopy : HAXPES)を用いて、イオン注入した Ge 層の化学結合状態および表面ポテンシャルを非破壊・高感度に評価した。このときの測定条件は、 $h\nu=7939\text{eV}$ (Au4f ピーク位置でキャリブレーション)、Pass energy=200 eV、光電子検出角度=80°、中和銃不使用である。

結果および考察：

Fig. 1 に、異なる基板温度でAs⁺イオン注入した試料のラマン散乱スペクトルを示す。室温イオン注入した試料では、結晶Ge(c-Ge)に固有なTOフォノン信号($\sim 300 \text{ cm}^{-1}$)は著しく弱く、非晶質Ge(a-Ge)特有のブロードなTOフォノン信号($\sim 275 \text{ cm}^{-1}$)が顕著に観測される。これに対して、加熱

基板にイオン注入した場合は、非晶質成分が明瞭に減少し、非晶質化が抑制されていることが分かる。SiO₂/a-Ge/c-Geの3層構造モデルにおいて、分光エリプソメトリ解析を行った結果、室温および400°Cイオン注入において、a-Ge層厚さはそれぞれ、12 nmおよび2 nmと見積もられた。As⁺イオン注入した試料間のフェルミ準位位置の違いを調べるために、硬X線光電子分光(HAXPES : hv=7939 eV)により測定したイオン注入直後のGe 2p_{3/2}スペクトルの温度依存性(Fig. 2)および600 °C, 30 min. N₂アニール前後での結合エネルギー位置をまとめた結果(Fig. 3)を示す。室温イオン注入直後の試料では、多量なアクセプタ型欠陥の導入と非晶質化によるバンドギャップの増大によってGe内殻信号はp-Ge(100)基板よりも低結合エネルギー側に観測される。これに対して、加熱基板へイオン注入した場合は、Ge2p_{3/2}信号は高結合エネルギー側へ大きくシフトし、フェルミ準位が伝導帯側へシフトする。この結果は、加熱イオン注入時の結晶性回復とAs活性化の進行に起因すると解釈できる。イオン注入後の600°C活性化熱処理によって、いずれの試料も、Asの活性化に伴うフェルミ準位の伝導帯側へのシフトが確認された。

今後の課題：

基板温度を室温以下に冷却しイオン注入した場合、活性化率向上が期待できるため、今回と同様の評価を行うことを検討する。

参考文献：

- [1] 小野 他, 平成 24 年秋季 第 73 回応用物理学会 関係連合講演会 11p-F5-14, 13-135. (課題番号 2012A0026)
- [2] T. Ono et al., 2012 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), (Kyoto, Sept., 2012) PS-1-16. (課題番号 2012A0026)
- [3] W. M. Lau et al., *J. Appl. Phys.*, **67**, 8, 3821-3825, (1990).
- [4] Y. Takamura, et al., *J. Appl. Phys.*, **92**, 9, 5503-5507(2002).

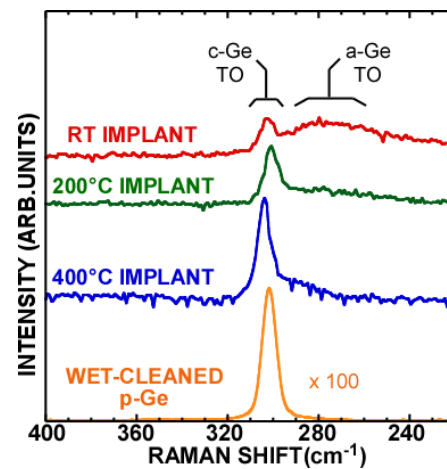


Fig. 1. 7nm SiO₂/Ge 構造のラマン散乱スペクトルのイオン注入時の基板温度依存性.

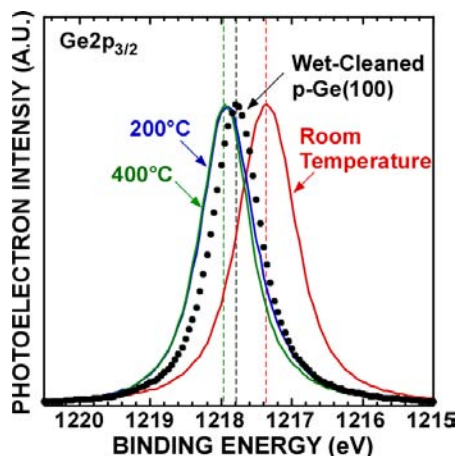


Fig. 2. As⁺イオン注入直後の Ge2p_{3/2} スペクトルのイオン注入時の基板温度依存性

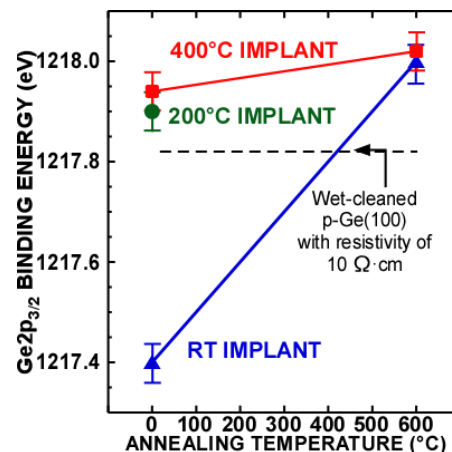


Fig. 3. 600 °C, 30 min. N₂アニール前後の Ge 2p_{3/2} ピーク結合エネルギー位置のイオン注入時の基板温度依存性