

炭化ケイ素基板への高温リンイオン注入と短時間高温活性化アニールの研究

利用者：広島大学大学院先端物質科学研究科 花房 宏明
 研究支援者：広島大学 佐藤 旦

【研究目的】

リン(P)イオンを基板温度300°Cで注入し、大気圧熱プラズマジェット(TPJ: Thermal-Plasma-Jet)を用いた冷却速度制御の熱処理を施した4H-SiC基板の不純物活性化とその結晶性に関する調査

【成果】

室温注入及び300°C注入した4H-SiC基板に対して約1630°CのTPJ熱処理を実施し、電子線後方散乱(EBSD: Electron Back Scattering Diffraction)法を用いて結晶方位解析をおこなった。室温注入サンプルでは熱処理後に3Cタイプに結晶性が変化しているのに対し、300°C注入サンプルにおいては4Hタイプを維持したまま結晶性を回復していることが明らかとなった。また、TPJ照射により約1600°Cまで加熱後に冷却速度を変化させた実験においては、冷却速度の高速化に伴う明瞭なキャリア濃度の増加が示され、最も高い冷却速度において40%の高い活性化率が得られた。

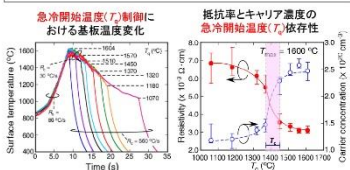
大気圧熱プラズマジェット(TPJ)による不純物活性化

大気圧熱プラズマジェット(TPJ)

- 大気圧において簡単な構造で10000°C以上の高温熱流 → 短時間の加熱・冷却が可能
- クリーンなプロセス → デバイスプロセスに應用可能



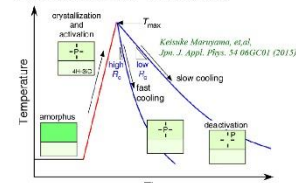
TPJアニールによる急冷却が不純物活性化に与える影響



$T_c = 1370 \sim 1450^\circ\text{C}$ の範囲において、明瞭な抵抗率の減少とキャリア濃度の増加

1370 ~ 1450°C付近からの急冷が、SiC基板中のPの高効率活性化に効果的

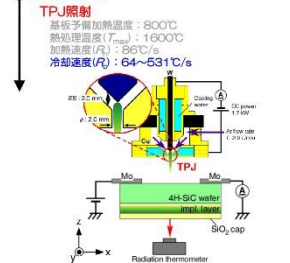
予想される活性化メカニズムの概略図



- **加熱過程** 表面アモルファス層の結晶成長の際に高温の不純物原子が格子内に取り込まれる。
- **冷却過程** 不純物の固溶限は温度の低下に伴い減少するため、固溶限以上の不純物は析出される。
- **冷却過程 (急冷)** 急速な冷却により固溶限以上の不純物が格子内にとどまり、不純物の不活性化が抑制。

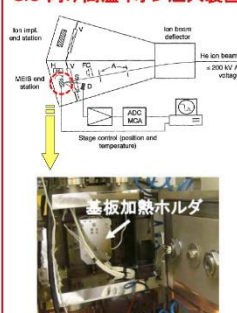
サンプル作製プロセス

- p-type SiC基板 (厚さ: 370 μm, エピタキシャル層: 10.5 μm)
- RCA洗浄, HF処理
- イオン注入 (@ 300°C, RT)
 - イオン種: P⁺
 - ドーズ量: $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$
 - 注入深さ: 200 nm (箱型形状プロファイル)
 - 加速電圧: 10~180 keV
- SiO₂膜堆積 (表面保護膜)
 - プラズマCVD法
 - 基板温度: 300°C
 - 膜厚: 100 nm
- 不純物活性化



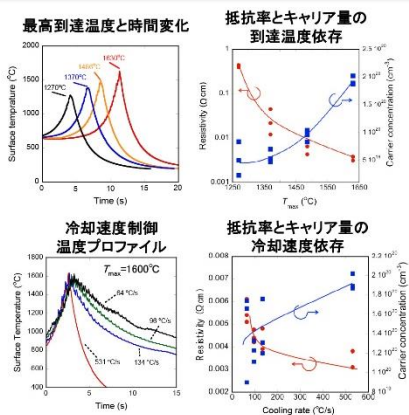
微細加工PFで実施

SiC向け高温イオン注入装置



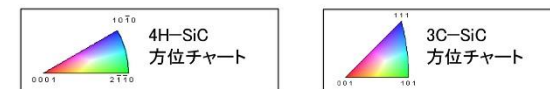
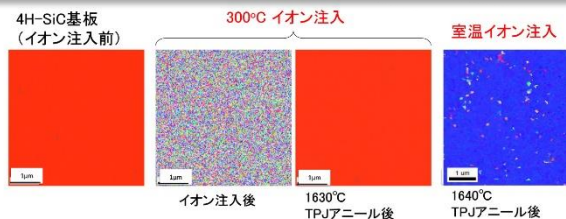
2011年に高温(500°C)でイオン注入が可能な装置に改造

高温イオン注入層の活性化アニール



$T_{max} = 1630^\circ\text{C}$ において、抵抗率3.1 mΩ cm、キャリア量 $2.0 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、活性化率40%を達成。

電子線後方散乱(EBSD)法による結晶面方位解析



高温イオン注入によって、4H-SiC構造で結晶回復がなされていることが示唆される。

TPJによるアニールと急冷却を組み合わせることで、結晶状態を維持したまま40%の高い活性化率が得られ、4H-SiC中不純物活性化に有効

【支援実施機関からのコメント】

SiCのイオン注入では、注入時に発生する結晶多形欠陥を回避するため、基板温度を上げて行う必要があります。本研究では高温で注入が出来るよう改造されたイオン注入装置を利用して頂きました。

【参考文献等】

[1] 伊藤久義、大島武、表面科学 Vol. 21, No. 12 pp.778-783, (2000).
 [2] K. Maruyama, H. Hanafusa, R. Ashihara, S. Hayashi, H. Murakami and S. Higashi, Jpn. J. Appl. Phys. 54, 06GC01 (2015).
 [3] H. Hanafusa, K. Maruyama, R. Ishimaru and S. Higashi, Mater. Sci. Forum 858, 535 (2016).