

熱平衡状態における4H-SiCエピタキシャル層中 シングルショックレー型積層欠陥の縮小運動

Shrinkage of single Shockley stacking faults in 4H-SiC epitaxial layers in thermal equilibrium

京大院工 [○]Do Euihyeon, 金子 光顕, 木本 恒暢

Kyoto Univ. [○]E. H. Do, M. Kaneko and T. Kimoto

E-mail: do@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

SiCエピウェハ中に存在する基底面転位(BPD)は、SiCバイポーラデバイスの順方向動作時にシングルショックレー型積層欠陥(1SSF)の形成核となり、デバイス特性の劣化の原因となることが知られている[1]。一方、熱処理により拡大した1SSFが縮小し、デバイス特性が回復することとも実験的に確認されているが[2]、熱処理を施した際の1SSFの挙動はほとんど理解されていない。本研究では、量子井戸モデル[3-5]に基づいて1SSFの実効的な形成エネルギーを計算することにより、エピ層中の1SSFの挙動を予測した。また、上記の計算に加え、拡大した1SSFを含む4H-SiCエピ層に対して高温熱処理を行い、熱処理前後の形状を比較することで、エピ層中の1SSFが縮小運動を始める温度条件を実験的に評価した。

量子井戸モデルによる1SSFの実効的な形成エネルギー γ_{SF}^* は、1SSFの結晶学的形成エネルギー γ_{SF} と電子のエネルギー利得 Δ_{SF} により、 $\gamma_{SF}^* = \gamma_{SF} - \Delta_{SF}$ と表せる。本研究では、非平衡状態におけるエネルギー利得の理論的計算モデル[6]を改良し、熱平衡状態における1SSFの電子のエネルギー利得 Δ_{SF} を計算した。実験に用いた試料はドーピング密度 $5.4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さ $10 \mu\text{m}$ のn型SiCエピ層を有するエピウェハである。この試料の表面に帯状の1SSFを拡大させた後、600–720 KにおいてAr雰囲気下で20分間の熱処理を施し、熱処理前後の1SSFの形状をPLイメージング測定により観察した。PLイメージング測定においては、励起光源として波長340 nm(半値幅約90 nm)にフィルタされたHg-Xeランプを用いた。観測波長は、750 nmのロングパスフィルタを用いて赤外領域に設定した。

本研究で得られた Δ_{SF} の計算結果を図1に示す。図1から、ドーピング密度 10^{19} cm^{-3} 以下のn型SiCにおける1SSFの電子のエネルギー利得は、1SSFの形成エネルギー[7]より十分小さく、実効的な形成エネルギー γ_{SF}^* は図の条件において常に正になることが分かる。次に、熱処理前後の1SSF形状比較の結果を示す。熱処理後に観測された1SSFの運動は全て縮小もしくは不動であった。これは、上述の計算による予測と合致する結果である。縮小を始める臨界条件に着目すると、図2に示す比較例のように、600 Kの熱処理後には1SSFの形状が変化しなかったのに対し、640 Kの熱処理後には一部の1SSFが縮小したことが確認できた。形状変化の有無を判断できた1SSFのうち、600 Kでは観測した24個の1SSFが全く縮小しなかったのに対し、640 Kでは27個中18個が縮小し、それ以上の熱処理温度でもほとんどの1SSFが縮小した。これは、1SSFが縮小運動を始める臨界温度が600–640 Kの範囲内に存在することを示唆する結果である。

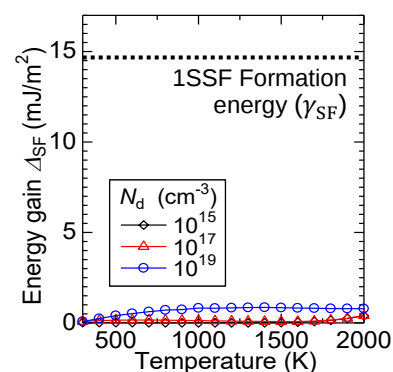


Fig 1. Temperature dependence of the energy gain of the 1SSF in 4H-SiC crystal (Δ_{SF}) in thermal equilibrium. The dotted line shows the stacking fault energy of 1SSF in 4H-SiC ($\gamma_{SF} = 14.7 \text{ mJ/m}^2$ [7]).

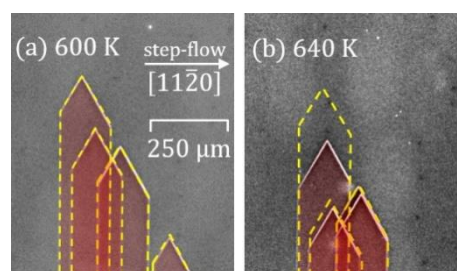


Fig 2. Shape of 1SSFs in n-type SiC epilayer ($N_d = 5.4 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$) after heat treatment at (a) 600 K and (b) 640 K. The shape of 1SSF before heat treatment is shown with yellow dashed lines in each figure.

- [1] M. Skowronski et al., *J. Appl. Phys.* **99**, 011101 (2006).
 [2] J. D. Caldwell et al., *J. Electron. Mater.* **37**, 699 (2008).
 [3] T. A. Kuhr et al., *J. Appl. Phys.* **92**, 5863 (2002).
 [4] K. Maeda et al., *Mater. Sci. Forum* **35**, 725 (2012).

- [5] Y. Mannen et al., *J. Appl. Phys.* **125**, 085705 (2019).
 [6] A. Iijima and T. Kimoto, *J. Appl. Phys.* **116**, 092105 (2019).
 [7] M. H. Hong, et al., *Philos. Mag. A* **80**, 919 (2000).