

Dynamic AGE-ing®を用いた 4H-SiC 基板の加工変質層除去による In-grown SF 形成の抑制

Suppression of In-grown SF Formation by Removal of Sub-Surface Damage Layer on 4H-SiC Substrates Using Dynamic AGE-ing®

関学大¹, 豊田通商² ◦戸田 晃平¹, 佐々木 淳¹, 堂島 大地¹, 小島 清², 三原 啓司¹, 三谷 慎一¹, 金子 忠昭¹

Kwansei Gakuin Univ.¹, TTC² ◦Kohei Toda, Jun Sasaki, Daichi Dojima, Kiyoshi Kojima, Hiroshi Mihara, Shin-ichi Mitani and Tadaaki Kaneko

E-mail: k.toda@kwansei.ac.jp

化合物半導体である 4H-SiC は、次世代パワーデバイスの基板材料として期待されている。デバイスの歩留まりを低下させる要因として、4H-SiC 基板上への CVD エピタキシャル成長時に界面から形成する In-grown SF (IGSF) が報告されている^{1,2}。その形成要因としては、基板内部の貫通欠陥や基板表面の荒れなどが指摘されている。しかし、未だに IGSF の十分な抑制には至っていないため、さらなる形成要因の特定が必要である。

4H-SiC のウエハ製造は、スライス、研削、研磨、CMP など機械的接触による複数の加工プロセスで構成される。基板内に導入される加工歪み量は段階的に減少することから、CVD エピタキシャル成長には加工変質層の残留が最も少ない CMP 加工基板が用いられる。しかし、この基板の表面には 100nm 深さ程度の積層欠陥が TEM により観察され³、また、数 μm 深さの結晶歪みが EBSD と $\mu\text{-XRD}$ により観察される⁴。現在まで、これらの加工変質層が IGSF 形成の要因となりうるかは検証されていない。CVD プロセスでは 4H-SiC 表面の積層欠陥を除去するために、成長前に微量な H_2 エッチングを施す。この手法は H_2 ガスと C 原子の反応性が高く、エッチングに伴って Si/C 比が増大し表面荒れを引き起こすため、プロセスウィンドウが狭いと考えられる⁵。したがって、十分に加工変質層を除去した上で平坦な基板表面を常に得られる新たな手法が必要である。そこで我々は、Dynamic AGE-ing® (DA) プロセスを用いる。DA とは多結晶 SiC 製の容器内に単結晶 SiC 基板を配置し、1200~2100°C の温度領域で Si/C 比が保たれる近熱平衡環境での、温度勾配を駆動力とした昇華エッチング及びエピタキシャル成長が可能プロセスである。本研究では 4H-SiC 基板の加工変質層が IGSF 形成の要因となるかを検証する目的で、DA プロセスによる昇華エッチング法により変質層の除去量が異なる基板を作製し、成長層に形成された IGSF の密度を測定する。

まず、DA プロセスによって 2021 年度に購入した CMP 仕上げの 4H-SiC (0001) 4°off 基板に昇華エッチング (1700-1800°C, 10-60min) を行った。AFM (10×10 μm^2) で測定した昇華エッチング後の表面粗さ (RMS) はエッチング量に依らず 0.1-0.2nm であり、表面荒れによる IGSF 形成は抑制されていると考えられる。次に、DA プロセスによる昇華エピタキシャル成長 (1800°C, 2h) を行った。CMP 直後の 4H-SiC 基板に成長させた場合の IGSF 密度は 32 cm^{-2} であった (Fig 1 (a))。対して、成長前に昇華エッチングを 0.6 μm 施した場合は 13.5 cm^{-2} に、1.3 μm では 2.5 cm^{-2} に IGSF 密度が減少した (Fig(b), (c))。このことから、CMP 仕上げの 4H-SiC 基板の加工変質層が IGSF 形成要因であると考察できる。

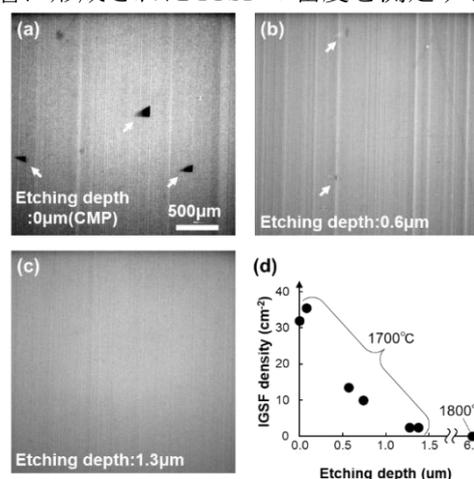


Fig 1. (a)-(c) PL images of epitaxially grown samples on 4H-SiC substrates with different etching depths. (d) IGSF density as a function of the etching depth of the 4H-SiC substrate.

[1] H. Tsuchida, et al., *Mater. Sci. Semicond. Process.* 78 (2018) 2-12.

[2] Y. Li, et al., *J. Crystal Growth* 506 (2019) 108-113.

[3] H. Sako, et al., *J. Appl. Phys.* 119.13 (2016): 135702.

[4] K. Ashida, et al., *MRS Advances* 1.55 (2016) 3697-3702.

[5] P. Stenberg, et al., *J. PHYS. CHEM. C* 121.5 (2017) 2711-2720.