

Al 濃度 $2.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の p 型 4H-SiC CVD エピ膜での 電気的特性と結晶性のオフ角依存性

Off-cut Angle Dependence of Crystalline Quality and Electric Properties in CVD-Grown Heavily Al-Doped p-Type 4H-SiC Epilayers with Al Concentration of $2.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

大阪電気通信大学¹, 産総研 先進パワーエレクトロニクス研究センター²

○日高 淳輝^{1,a)}, 成田 智哉¹, 岩槻 光栄¹, 梅内 滉武¹, 松浦 秀治^{1,b)},

紀 世陽², 江藤 数馬², 児島 一聡², 加藤 智久², 吉田 貞史²

Osaka Electro-Communication University¹, AIST Advanced Power Electronics Research Center²

○Atsuki Hidaka^{1,a)}, Tomoya Narita¹, Mitsuhide Iwatsuki¹, Hiromu Umeuchi¹, Hideharu Matsuura^{1,b)},

Shiyang Ji², Kazuma Eto², Kazutoshi Kojima², Tomohisa Kato², and Sadafumi Yoshida²

E-mail: h-atsuki@osakac.ac.jp^{a)}, matsuura@osakac.ac.jp^{b)}

1. はじめに SiC を用いたオン抵抗の低いパワーデバイスである n チャネル Insulated-Gate Bipolar Transistor の実用化のため、Al 濃度 (C_{Al}) が 10^{19} cm^{-3} 以上の p 型 4H-SiC の電気的特性を調べてきた[1-3]。 C_{Al} が 10^{19} cm^{-3} 台前半の高濃度試料において抵抗率の温度依存性 ($\rho(T) \sim 1/T$) より、オフ角をもった n 型基板に成膜した試料において低温域の NNH 伝導と高温域の Band 伝導の間に温度依存性 (活性化エネルギー) の最も少ない伝導 (X 伝導と呼ぶ) 領域が現れた事を報告した[3]。本研究では、オフ角の異なる n 型 4H-SiC 基板に Chemical Vapor Deposition (CVD) 法で成膜した試料について、 $\rho(T)$ の測定および結晶の周期構造の乱れとして格子面間隔の揺らぎを調べるため、X-ray diffraction (XRD) 測定を行った。(0004)面の回折パターンからのピークから得られる C 面 (0001)面 間隔 (d_c) と半値幅から得られる格子面間隔の分布 (Δd_c) から C 面間隔の揺らぎの目安 ($\Delta d_c / d_c$) を求め、電気的特性と結晶性のオフ角依存性について議論する。

2. 実験及び評価方法 [11-20] 方向に 2° , 4° と 8° の異なるオフ角をもつ C 面 n 型 4H-SiC 基板に、CVD 法で約 $90 \mu\text{m}$ 厚の Al 単独ドープ p 型 4H-SiC エピ膜を同時に成膜した。同様に 3 種類の Al-N コドープ p 型 4H-SiC エピ膜を同時に成膜した。SIMS 測定より、これら試料の C_{Al} は $2.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、Al-N コドープ試料での N 濃度 (C_N) は $4.7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であった。 $\rho(T)$ は、東陽テクニカ製 ResiTest8400 を用いて van der Pauw 法で求めた。また、結晶面の C 面に平行である (0004) 面の XRD パターンは、リガク製 SmartLabXE を用いた XRD 測定により求めた。

3. 実験結果と考察 図 1 に Al 単独ドープ (Al doped) および N コドープ (Al-N doped) 試料の $\rho(T) \sim 1/T$ 特性を示す。全試料で 3 種類の線形性が得られ、高温側で Band 伝導、低温側で NNH 伝導と見られる以外に、図中の X と示す中温域で NNH 伝導より活性化エネルギーの小さな伝導 (X 伝導) が現れた。X 伝導以下の低温域について、Al doped のオフ角 2° (○) よりも 8° (×) で、Al-N doped のオフ角 2° (●) よりも 8° (+) でそれぞれ $\rho(T)$ が高く、 $\rho(T)$ のオフ角依存性を示した。しかし X 伝導の温度幅は Al doped 同士と Al-N doped 同士では同じであり、これはオフ角依存性の無い事が分かった。次に、各試料の $\rho(T) \sim 1/T$ から見積もった X 伝導と NNH 伝導の活性化エネルギー (ΔE_X , ΔE_{NNH}) を図 2 に示す。枠線に示す様に Al doped と Al-N doped それぞれで活性化エネルギーのオフ角依存性が無い事が分かった。そして、 ΔE_X が全試料で 5 meV 程度と非常に低い事が分かった。したがって、同環境下で同時に成膜した試料であるにも関わらず X 伝導と NNH 伝導で $\rho(T)$ のオフ角依存性がある事が分かった。次に XRD 測定により結晶性のオフ角依存性について確かめた。図 3 に XRD パターンより得られた $\Delta d_c / d_c$ のオフ角依存性を示す。Al doped 試料 (○) についてオフ角の増加に伴い $\Delta d_c / d_c$ が減少する事が分かった。これはオフ角が増加すると結晶の周期性の揺らぎが少なくなる事を示している。しかし Al-N doped 試料 (Δ) では Al doped 試料とは逆にオフ角増加に対して結晶の周期性の乱れが増加する事が分かった。一方、オフ角 2° 以外は N コドープのほうで結晶性が悪い傾向にある事が分かった。

4. まとめ C_{Al} が $2.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の p 型 4H-SiC 試料において、CVD 法で成膜されたオフ角 2° , 4° と 8° の試料の全てで ΔE_X が 5 meV 程度と非常に低い X 伝導が現れた。この X 伝導領域の温度幅や $\rho(T)$ の ΔE_X にオフ角依存性は無く、 $\rho(T)$ の値にはオフ角依存性のある事が分かった。そしてオフ角の増加に伴い、C 面の格子面間隔の揺らぎの目安である $\Delta d_c / d_c$ について Al 単独ドープ試料では減少するが N コドープ試料では増加する事が分かった。

謝辞: 本研究の一部は、科学研究費補助金 (基盤研究 C) 及び総合科学技術・イノベーション会議の SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 「次世代パワーエレクトロニクス/SiC 次世代パワーエレクトロニクスの統合的研究開発」(管理法人: NEDO) によって実施されました。

【参考文献】

- [1] H. Matsuura, et al.: APEX 11 (2018) 101302 1-5.
[2] H. Matsuura, et al.: Jpn. J. Appl. Phys. 58 (2019) 098004 1-3.
[3] A. Hidaka, et al.: Materials Science Forum. Vol.1004 (2020) 224-230.

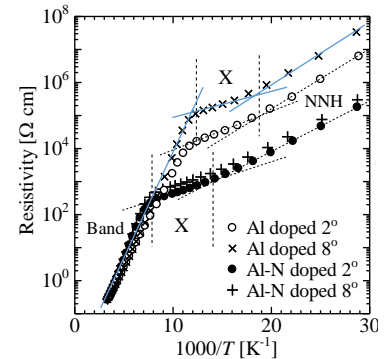


Fig.1. $\rho(T) - 1/T$.

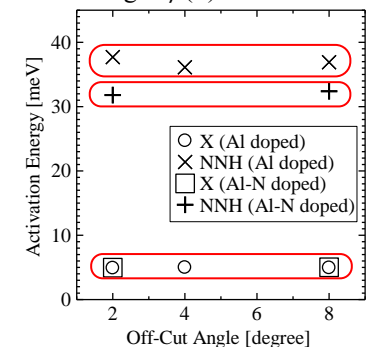


Fig.2. Dependence of activation energy on off-cut angle.

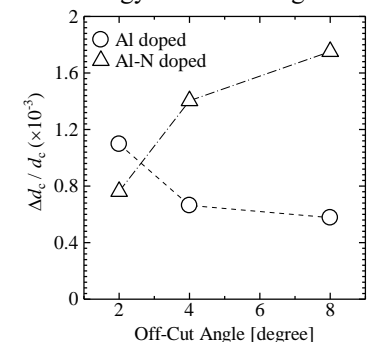


Fig.3. Dependence of $\Delta d_c / d_c$ on off-cut angle.