

高濃度 Al ドープ p 型 4H-SiC の Al 濃度 10^{19} cm^{-3} 台前半での未知の伝導

Anomalous Conduction in Heavily Al-Doped p-Type 4H-SiC with Al Concentration of First Half of 10^{19} 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)}, 竹下 明伸¹, 今村 辰哉¹, 高野 晃大¹, 奥田 和也¹, 小川 晃平¹, 松浦 秀治^{1,b)},
紀 世陽², 江藤 数馬², 三谷 武志², 児島 一聡², 加藤 智久², 吉田 貞史², 奥村 元²

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

^{a)}Atsuki Hidaka^{1,a)}, Akinobu Takeshita¹, Tatsuya Imamura¹, Kota Takano¹, Kazuya Okuda¹,

Kohei Ogawa¹, Hideharu Matsuura^{1,b)}, Shiyang Ji², Kazuma Eto², Takeshi Mitani²,

Kazutoshi Kojima², Tomohisa Kato², Sadafumi Yoshida², and Hajime Okumura²

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

【1.はじめに】 SiC を用いた低オン抵抗のパワーデバイスである n チャネル Insulated-Gate Bipolar Transistor の実用化のためにはコレクタとなる p 型 4H-SiC 基板の低抵抗率化が不可欠である。本研究では Chemical Vapor Deposition (CVD) 法、Physical Vapor Transport (PVT) 法と Solution Growth (SG) 法で成膜した試料の抵抗率の温度依存性 ($\rho(T)$) を van der Pauw 法で測定し、Al 濃度 (C_{Al}) が 10^{19} cm^{-3} 台前半で出現する未知の伝導 (X 伝導) について議論する。

【2.実験】 (0001)C 面において [11-20] 方向に 8° もしくは 4° のオフセット角のある n⁺ 型 4H-SiC 基板の上に、CVD 法で成膜した Al 単独ドープ試料 (CVD-A 群) と Al-N コドープ試料 (CVD-AN 群)、また PVT 法で成膜した Al-N コドープ試料 (PVT-AN 群)、そして 0° オフセット角 (on-axis) の基板の上に溶液法で成膜した Al-N コドープ試料 (SG-AN 群) を van der Pauw 法で $\rho(T)$ を測定した [1]。

【3.実験結果及び考察】 図 1 に C_{Al} が $3.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 未満の試料の $\ln \rho(T) - 1/T$ を示す。全ての試料で、高温域で Band 伝導、低温域で最近接ホッピング (NNH) 伝導が現れている。しかし SG-AN を除いて中温域に活性化エネルギー (ΔE_X) が最も低い X 伝導が出現した。 ΔE_X が NNH 伝導の活性化エネルギー (ΔE_{NNH}) より低い場合、X 伝導と NNH 伝導は直列と考えられる。また、Band 伝導の活性化エネルギー (ΔE_{Band}) は ΔE_{NNH} より高いので、Band 伝導は他の伝導と並列である。Band 伝導、X 伝導、NNH 伝導の抵抗率をそれぞれ $\rho_{\text{Band}}(T)$ 、 $\rho_X(T)$ 、 $\rho_{\text{NNH}}(T)$ とすると、合成抵抗率 $\rho(T)$ は次式で表される。

$$\frac{1}{\rho(T)} = \frac{1}{\rho_{\text{Band}}(T)} + \frac{1}{y\rho_X(T) + (1-y)\rho_{\text{NNH}}(T)} \quad (1)$$

ここで、 y は試料全長の内 X 伝導の長さの比率である。図 1 の高温域と低温域の傾きから求めた ΔE_{Band} と ΔE_{NNH} を用いて、(1) 式よりカーブフィッティング法で ΔE_X を見積もった。図 2 に各試料の ΔE_{NNH} と ΔE_X の Al 濃度依存性を示す。一点鎖線と破線は Al ドープと Al-N コドープの ΔE_{NNH} の最小二乗近似線である。 $C_{\text{Al}}^{1/3}$ は Al アクセプタの最近接間隔の平均の逆数を表していることから、Al アクセプタ間が狭まるに従って ΔE_{NNH} が低くなることが分かった。Dopant-Concentration Inhomogeneity (DCI) モデル [2] で考えると、NNH 伝導で電流が流れる領域よりも X 伝導で電流が流れる領域の C_{Al} が高いと考えられる。そして、端子間の電流経路において必ず X 伝導の Al 高濃度領域と NNH 伝導の Al 低濃度領域を交互に通過する経路となるためには、例えば図 3 のような高 C_{Al} 領域の形状が考えられる。

【3.まとめ】 未知の伝導 (X 伝導) は、 C_{Al} が 10^{19} cm^{-3} 台前半の試料において、オフセット角のある n⁺ 型 4H-SiC 基板の上に CVD 法と PVT 法で成膜した試料に現れ、on-axis の n⁺ 型 4H-SiC 基板の上に溶液法で成膜した試料では現れなかった。DCI モデルでは X 伝導での C_{Al} は、NNH 伝導より高いと考えられ、低 C_{Al} 領域と高 C_{Al} 領域が交互に存在する形状の試料であると考えられる。

謝辞: 本研究は、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」(管理人: NEDO) によって実施されました。

【参考文献】

[1] A. Hidaka, et al., ICSCRM2019, Kyoto, Japan, Oct. 2, 2019, WeP20 (to be published in Materials Science Forum).

[2] H. Matsuura, et al., Appl. Phys. Express, 11 (2018) 101302.

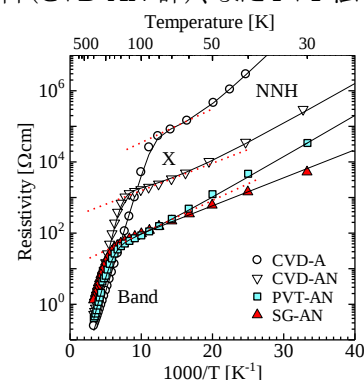


Fig.1. $\ln \rho(T) - 1/T$ in the samples with $C_{\text{Al}} < 3.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$.

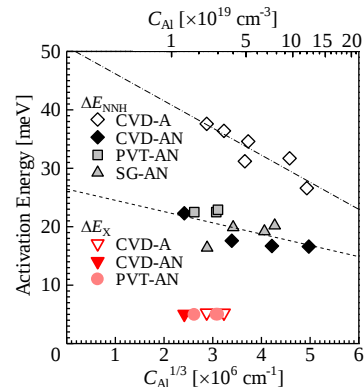


Fig.2. Dependence of ΔE_{NNH} and ΔE_X on C_{Al} .

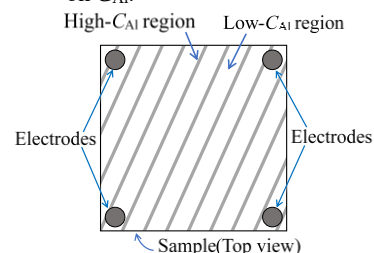


Fig.3. Pattern diagram of high- C_{Al} region (X conduction region) configuration in the sample.