

p チャンネル 4H-SiC MOSFET における酸化膜正孔リーク電流伝導機構の解析 Analysis of conduction mechanism of hole leakage current in thermally grown oxide on p-channel 4H-SiC MOSFETs

筑波大¹, 産総研² ○根本 宏樹¹, 岡本 大¹, 張 旭芳¹, 染谷 満²,
岡本 光央², 島山 哲夫², 原田 信介², 岩室 憲幸¹, 矢野 裕司¹

U. Tsukuba¹, AIST², Hiroki Nemoto¹, Dai Okamoto¹, Xufang Zhang¹, Mitsuru Sometani²,
Mitsuo Okamoto², Tetsuo Hatakeyama², Shinsuke Harada², Noriyuki Iwamuro¹, and Hiroshi Yano¹

E-mail: s1820347@s.tsukuba.ac.jp

【背景】p チャンネル SiC-MOSFET は CMOS-IC や相補型インバータへの応用のために必要であり、近年大きな注目を集めている[1]。p チャンネル素子の実用化には信頼性に大きな課題があり、中でも p 型 4H-SiC MOS 構造に対する酸化膜リーク電流についての報告はほとんどない。以前我々は、Fig.1 に示すキャリアセパレーション法を用いて、リーク電流をキャリア毎の電流に分離し測定を行った[2]。その結果、リーク電流伝導に支配的なキャリアはゲート電極から注入される電子であることが分かり、その温度依存性から電子リーク電流は Fowler-Nordheim(FN)機構[3]と Poole-Frenkel(PF)機構[4]により伝導することを明らかにした[1]。一方、正孔リーク電流の伝導機構は未だ明らかとなっていない。そこで、本研究では酸化膜正孔リーク電流の伝導機構を調査し、ゲート酸化膜リーク電流の正確な伝導機構の解明を試みた。

【実験および結果】実効ドナー濃度 $1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ の n 型 Si 面 4H-SiC エピ層上に n^+ poly-Si ゲートを有する p チャンネル MOSFET を作製した。ドライ酸化により約 50 nm のゲート酸化膜を形成し、さらに NO-POA を 1250 °C で 30 分行った。チャンネル長 100 μm 、チャンネル幅 200 μm の p チャンネル 4H-SiC MOSFET を使い、100K~400K の温度領域でキャリアセパレーション測定を行った。

Fig.2 に室温における正孔リーク電流の I - V 測定の結果を示す。正孔リーク電流は高電界側で低電界側と逆方向に伝導することがわかった。これは、ゲート電極から注入された電子がホットエレクトロンとなり、SiC 中で引き起こされるインパクトイオン化が原因であると考えられる。そこで、ゲート電極からの電子注入を抑制するため、 n^+ poly-Si より仕事関数の大きい Ni に注目した。Ni をゲート電極に用いることで、ゲート電極からの電子注入を抑制でき、正孔電流の伝導機構を正確に調査できると考えた。実際に Ni ゲート電極素子を n^+ poly-Si ゲート電極素子と同様の条件で作製し、キャリアセパレーション測定を行い正孔リーク電流の伝導機構を調査した。

Fig.3 に Ni ゲート電極素子における正孔リーク電流の I - V 測定の結果を示す。いずれの領域でも Fig.2 のような逆方向電流は観測されなかった。このことから、正孔電流の逆方向導通はゲート電極からの電子注入に起因していた可能性が高いといえる。また、その温度依存性から伝導機構を調査したところ、電子電流と同様に FN 電流と PF 電流から構成されることが分かった。

【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」(管理法人：NEDO) および JSPS 科研費 JP16H04326 によって実施されました。

[1] J. An, et al., IEDM 2016, 10.7 (2016). [2]根本ら, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会 20p-D103-13 (2018).

[3] R.H.Fowler and L.Nordheim, Proceedings of the Royal Society A B,173 (1928). [4] J.Frenkel, Phys.Rev.,55,647(1938).

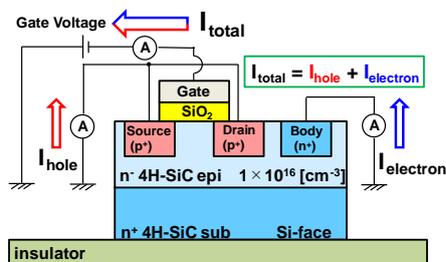


Fig. 1. Measurement circuit for the carrier-separation I - V method

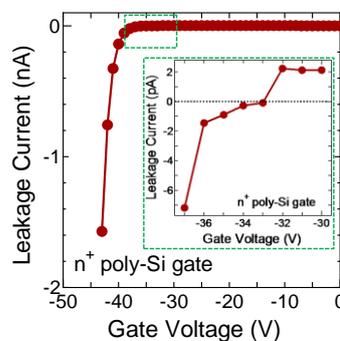


Fig. 2. Hole leakage I - V characteristics in n^+ poly-Si electrode sample.

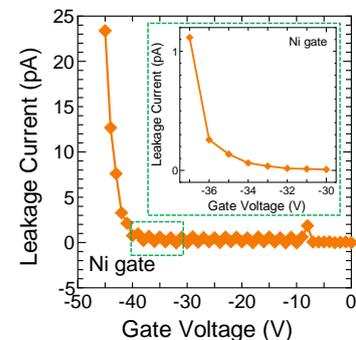


Fig. 3. Hole leakage I - V characteristics in Ni electrode sample.