

p 型 4H-SiC の耐放射線性 Radiation hardness of p-type 4H-SiC

松浦秀治、蓑原伸正、高橋美雪、大島武¹⁾、伊藤久義¹⁾

大阪電気通信大学工学部電子工学科、大阪府寝屋川市初町 18-8、E-mail: matsuura@isc.osakac.ac.jp

1) 日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究部門、群馬県高崎市綿貫町 1233

【はじめに】 SiC の結合は Si より強く、優れた耐放射線性を有していると考えられ、放射線環境下で動作する SiC 電子デバイスの具現化が待望されている。そのため、SiC の耐放射線性を詳細に調べる必要がある。これまで、p 型 4H-SiC に数種類のエネルギーの電子線を照射し、正孔密度の温度依存性 $p(T)$ の変化を調べてきた[1-3]。予想に反し、p 型 Si の耐放射線性[4]と同程度かそれ以下の実験結果が得られた[1-3]。

ここでは、電子線照射による p 型 4H-SiC の正孔密度の減少の原因を調べるために、SiC 中の C 原子だけを弾き飛ばせると考えられる 200 keV の電子線を照射し[2,3]、 $p(T)$ の減少の照射線量依存性を調べる。

【実験】 以下のように、同一の p 型 4H-SiC エピ膜に 200 keV の電子線を照射し、ホール効果測定を行い、 $p(T)$ を得た。n 型 4H-SiC 基板上に成長させた $10\ \mu\text{m}$ の p 型 4H-SiC エピ膜を $1\ \text{cm}$ 角にカットし、ホール測定用の試料を作製した。未照射の状態ではホール効果測定を行った後、 $1 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-2}$ の電子線を室温で照射した。この照射された試料のホール効果測定を行った後、今度は照射量 $2 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-2}$ の電子線を照射した。その後、ホール効果測定と $2 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-2}$ の電子線照射を繰り返した。その結果、今回測定した電子線の照射量は、 $1 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-2}$ 、 $3 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-2}$ 、 $5 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-2}$ 、 $7 \times 10^{16}\ \text{cm}^{-2}$ である。

【実験結果・考察】 図 1 に各照射量での $p(T)$ を示す。照射量の増加に伴い、低温側の $p(T)$ は激減している。一方、高温側の $p(T)$ はほとんど変化していない。

この原因を調べるために、電子線照射によるアクセプタ密度の変化を調べた。FCCS 法 (Free

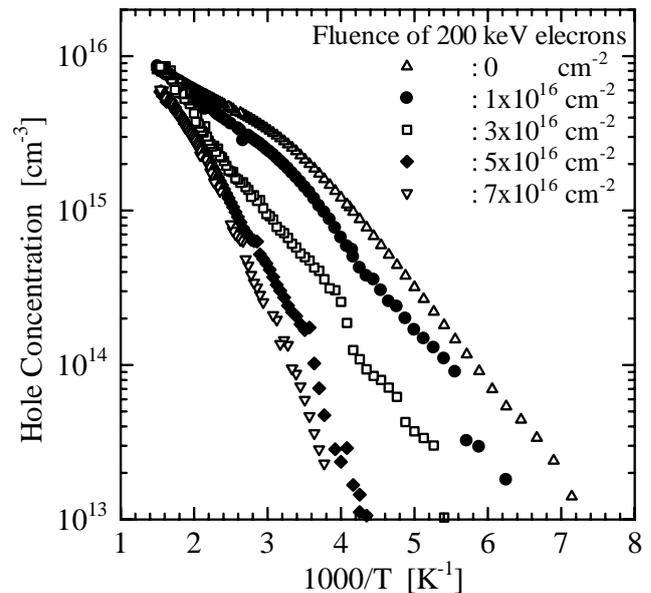


図 1 数種類の電子線照射量での正孔密度の温度依存性

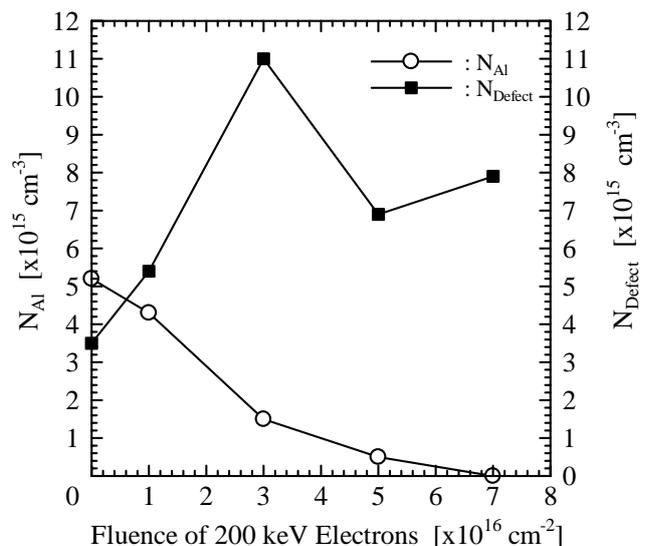


図 2 Al アクセプタ密度と深いアクセプタ密度の照射線量依存性

P-25

Carrier Concentration Spectroscopy) を用いて、アクセプタに関する仮定を導入しないで、アクセプタ密度および準位を決定した[5,6]。その結果を図 2 に示す。以前に報告しているように[1,5]、Al-doped 4H-SiC の場合、2 種類のアクセプタ (アクセプタ準位が約 200 meV の Al アクセプタとアクセプタ準位が約 370 meV の起源未詳のアクセプタ) が存在した。さらに電子線照射を行っても、 $p(T)$ に影響を及ぼすアクセプタは、上記の 2 種類のアクセプタだけであった。また電子線未照射の場合、約 370 meV のアクセプタ密度(N_{Defect})は Al アクセプタ密度(N_{Al})の約 0.6 倍と報告されている[3,5]。このことから約 370 meV のアクセプタには Al が関与していると推測できる。

200 keV の電子線照射で、 N_{Al} は単調に減少し、照射量 $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ では検出限界以下になっている。一方、 N_{Defect} は最初増加したが、 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 以上では減少することが分かった。

一方、低エネルギーの電子線照射では、ミッドギャップ付近の深い準位に C monovacancy(V_{C}) が形成されると考えられている。仮に V_{C} 密度(N_{VC}) だけで、今回測定した $p(T)$ の変化が説明できるかを検証する。未照射での N_{Al} と N_{Defect} を用いて、 N_{VC} を $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ から $7 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ まで変化させたときの $p(T)$ を図 3 に示す。この場合、低温側では $p(T)$ が激減するが、高温側でも $p(T)$ が減少し、実験結果を説明できない。したがって、200 keV の電子線照射でミッドギャップ付近だけに欠陥が生成されたのではなく、2 種類のアクセプタ密度が変化することで $p(T)$ が変化していると考えられる。

【まとめ】 低エネルギー、低照射量にもかかわらず、電子線照射により p 型 4H-SiC の正孔密度は、Si と同程度かそれ以上に減少した。電子線照射による正孔密度の減少の原因は、Al アクセプタ密度の減少が大きく関与していることが分かった。

References

- [1] H. Matsuura, K. Aso, S. Kagamihara, H. Iwata, T. Ishida and K. Nishikawa: Appl. Phys. Lett. 83 (2003) 4981.
- [2] H. Matsuura, S. Kagamihara, Y. Itoh, T. Ohshima and H. Itoh: Microelectronic Engineering 83 (2006) 17.
- [3] H. Matsuura, S. Kagamihara, Y. Itoh, T. Ohshima and H. Itoh: Physica B 376-377 (2006) 376.
- [4] H. Matsuura, H. Iwata, S. Kagamihara, R. Ishihara, M. Komeda, H. Imai, M. Kikuta, Y. Inoue, T. Hisamatsu, S. Kawakita, T. Ohshima and H. Itoh: Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 2648.
- [5] H. Matsuura, M. Komeda, S. Kagamihara, H. Iwata, R. Ishihara, T. Hatakeyama, T. Watanabe, K. Kojima, T. Shinohe and K. Arai: J. Appl. Phys. 96 (2004) 2708.
- [6] S. Kagamihara, H. Matsuura, T. Hatakeyama, T. Watanabe, M. Kushibe, T. Shinohe and K. Arai:

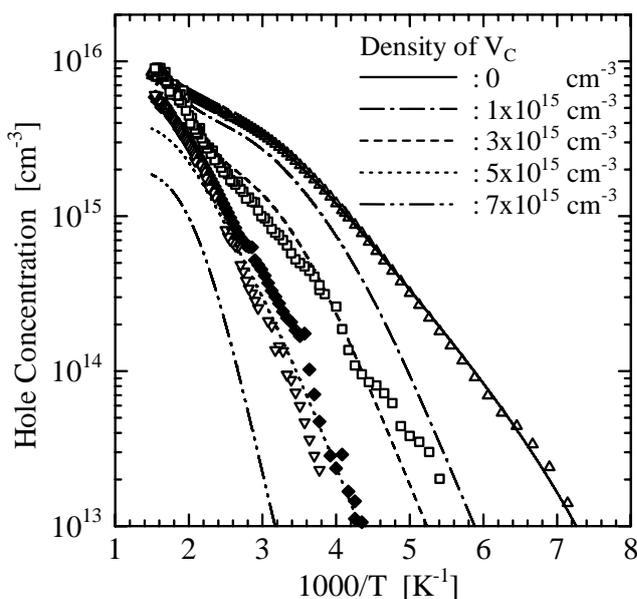


図 3 ミッドギャップ付近に欠陥が形成されたと仮定したときの正孔密度の温度依存性のシミュレーション結果

P-25

J. Appl. Phys. 96 (2004) 5601.