[19017]

高い放射線耐性を有する半導体素子の開発

Development of semiconductor devices with high radiation tolerance

高倉健一郎 #, 角田功, 米岡将士, Kenichiro Takakura [#], Isao Tsunoda, Masashi Yoneoka National College of Technology, Kumamoto-College

Abstract

Radiation tolerance of the diamond Schottky PN diode was evaluated. The changes in the current-voltage characteristics before and after irradiation were compared by the forward current slope, the threshold voltage, and the reverse current ground. The characteristics of multiple devices were evaluated, and the dispersion values of each parameter were summarized.

Keyword: diamond, Schottky PN diode, gamma-ray irradiation

1. はじめに

多くのデバイスはシリコン (Si) によって構成されている。しかし現在、耐圧、損失、周波数特性において、Si デバイスでは要求される特性を得られないことがふえてきた。そのためデバイスとして、今後は



Au (Ohmic electrodes)



より高耐圧、低損失、高周波化に取り組まなければ ならず、開発の主軸が高絶縁破壊、高移動度の特徴 を持つ材料に移行している。デバイスの適応分野に おいても過酷な条件、厳しい環境下でも動作するこ とが求められてくる。例としては人工衛星、原子炉 等での放射線環境下に使用可能な半導体デバイスの 需要が増加している。そのためそれらの環境におけ るデバイスは放射線損傷について考慮しなければな らず、耐放射線性に優れたデバイスの開発も社会的 ニーズとなっている。近年、Si に代わる材料として、 ダイヤモンドが注目されている。ダイヤモンドは Si と比べて高耐圧、高移動度など優れた半導体特性を 持つ。また、放射線耐性についてもダイヤモンドは Siの 1000 倍と高い放射線耐性があると期待されて いる[1]。よりダイヤモンドが実用化されるには放射 線環境下での評価が必要だが、報告が少ない。本研 究ではダイヤモンドショットキーPN ダイオードを 対象としてダイヤモンドデバイスの放射線耐性を評 価する。

2. 実験方法

2.1 評価試料

評価素子の概略図を Figure 1 に示す。ホウ素が 2× 20^{20} cm⁻³ドープされた p型単結晶ダイヤモンド(111) 基板を用い、その上に窒素が 3×10¹⁷ cm⁻³ドープされ た n型ダイヤモンド層を 74 nm 成長させている。ダイヤモンド表面を酸素終端後、n型側にニッケル(Ni) を、p型側に金(Au) をそれぞれ蒸着し、n型側がショットキー接続、p型側がオーミック接続になるようにした。なお、Ni 電極は直径 50 µm、100 µm、200 µm の円形である。

2.2 評価方法

各素子のデバイスパラメータの推定および放射線 照射効果の評価は照射前後での電流-電圧(I-V)を測 定、解析することによって評価を行った。測定には、 プローバーARK-LIPS と B1500A 半導体デバイス・ア ナライザと接続することで I-V 特性を測定した。測 定は室温、真空環境下で実施した。放射線照射につ いては、日本原子力研究開発機構・高崎量子応用研 究所にて Table 1 に示す条件のもと行った。

Table 1 Irradiation condition of the gamma ray.

照射設備	日本原子力研究開発機構
	高崎量子応用研究所
照射放射線種	ガンマ線
照射温度	常温
エネルギー	1 MeV
総照射量	172 kGy

[19017]



3. 実験結果と考察

Figure 2. (a) Current-Voltage (I-V) characteristics of the SPND diodes, distribution of the (b) forward current slope and (c) threshold voltage before gammaray irradiation.

本研究で用いた試料は直径 200 µm 電極が 18 点, 直径 100 µm 電極が 36 点,直径 50 µm 電極が 48 点 同一試料上に存在する.まず,照射前後での特性劣



Figure 3. Distribution of the reverse current at the voltage of -6V before gamma-ray irradiation.



Figure 4. Current-voltage characteristics of the SPND after gamma-ray irradiation.

化の評価を行うために,照射前での I-V 特性の測定 をおこなった. Figure 2 に,ガンマ線照射前の,ダイ オードの I-V 特性、照射前の立ち上がりの傾き,及 び閾値電圧を示す.なおエラーバーは標準誤差を点 は解析結果の平均値である.立ち上がりの傾きの平 均はそれぞれ 0.1 A/V 付近,閾値電圧は 4.2 V 付近で あった.傾向として,立ち上がりの傾きは電極面積 が拡大するにつれてやや急峻に,閾値電圧は低下い ているように見えるが,有意差なさではないと考え ており,順方向特性の面積依存性はないと考えられ る.Figure 3 に逆方向電圧-6 V 時の電流値を示す.逆 方向電流が増加する傾向がみられ,電極面積依存性 がみられた.これは,ダイオード中の欠陥を介した 電流増加が原因と考えられる.

3.2 照射後のダイオード特性

Figure 4 に照射後のダイヤモンド SPND の I-V 特 性の測定結果を示す.ガンマ線照射後もダイヤモン ド SPND が持つダイオードの整流特性を確認するこ

[19017]



Figure 5. Comparison of the distribution of (a) the forward current slope and (b) threshold voltage before and after the gamma-ray irradiation.

とができ、これにより照射によってダイオードの機能を失わなかったことを確認した.照射前後のI-V特性に顕著な変化を確認することはできなかった。

ガンマ線照射によるダイオード特性への影響を詳細に調査するために、Figure 5 に(a) 立ち上がりの傾きと(b) 閾値電圧のガンマ線照射前後の変化を示す. 立ち上がりの傾きはやや急峻に,閾値電圧は低下する傾向がみられたが有意差が得られておらず,順方向特性のガンマ線照射による影響は殆どなかった.



Figure 6. Comparison of the distribution of the reverse current at the voltage of -6V before and after the gamma-ray irradiation.

Figure 6 に逆方向特性の照射前後比較結果を示す. 照 射前と同様に,逆方向電流の面積依存性は見られた が,それぞれの電極面積ごとでの照射後の逆方向電 流を比較すると,逆方向電流は照射によって顕著な 変化は見られなかった.

4. 実験結果と考察

本研究は、ダイヤモンド SPND を対象に、放射線 による電気的特性の変化を評価することを目的に行 った.その結果を以下にまとめる.

・当該試料は、照射前にダイオードの整流特性を 確認でき、照射後においても整流特性を観測する ことができたことから、本研究の照射条件におい て、照射によって整流特性は失われなかった.
・ダイオードの順方向特性において、立ち上がり の傾きはやや急峻に、閾値電圧はやや低下する傾 向を観測されたが、有意差はなく変化しないと結 論付けた.また、ダイオードの逆方向特性につい ては目立った変化は観測されなかった.
・照射条件において、ダイヤモンド SPND は本研 究の照射条件においては、ダイオードとしての機 能するのはないかと考えられる.

参考文献

- [1] 鈴木真理子,第 57 回応用物理学関係連合講演会予稿 集,18a-TV-0 (2010)
- [2] T.Makino , et.al., Phys. Status Solidi A,207,No.9,2105-2109