

## 埋め込み型フォトダイオードを有する SiC アクティブピクセルセンサへの 4 MGy ガンマ線照射効果

4 MGy Gamma-ray radiation effects on 4H-SiC active pixel sensors with Embedded UV Photodiode

広島大 RISE<sup>1</sup>, 量研<sup>2</sup>, 産総研<sup>3</sup>,

○(M1) 谷川宗磨<sup>1, a</sup>, 目黒達也<sup>1</sup>, 武山昭憲<sup>2</sup>, 大島武<sup>2</sup>, 児島一聡<sup>3</sup>, 田中保宣<sup>3</sup>, 黒木伸一郎<sup>1, b</sup>

RISE, Hiroshima Univ.<sup>1</sup>, QST<sup>2</sup>, AIST<sup>3</sup>,

°Kazuma Tanigawa<sup>1</sup>, Tatsuya Meguro<sup>1</sup>, Akinori Takeyama<sup>2</sup>, Takeshi Ohshima<sup>2</sup>, Kazutoshi Kojima<sup>3</sup>,  
Yasunori Tanaka<sup>3</sup>, and Shin-Ichiro Kuroki<sup>1</sup>

E-mail: {<sup>a</sup> tanigawa-kazuma, <sup>b</sup> skuroki}@hiroshima-u.ac.jp

【研究背景】近年、半導体デバイスの用途が拡大しており、原子力発電所や宇宙探査など高温・高放射線環境下で使用できる半導体デバイスが強く求められている。特に構造上放射線遮蔽が難しいイメージセンサでは、高放射線環境における長時間動作のためにデバイス自体が放射線耐性を有している必要がある。SiC は、耐放射線デバイス材料の候補の一つである。これまで本研究グループでは、SiC イメージセンサを提案し[1-3]、2 MGy のガンマ線まで動作可能であることを示した。しかし、4H-SiC フォトダイオード (PD) の量子効率 (QE) が著しく低下することが確認された[1]。QE の低下は、SiO<sub>2</sub> と SiC の界面における欠陥の増加によって引き起こされたと考えられる。本研究では、QE 低下を抑制するために 4H-SiC CMOS アクティブピクセルセンサに埋め込み型 PD を導入した。また、PD を埋め込んだ 4 トランジスタアクティブピクセルセンサ (4T-APS) と埋め込んでいない 4T-APS の性能を比較した。

【実験および結果】本研究では比較のため、埋め込んでいないもの (PD1)、浅く埋め込んだもの (PD2)、深く埋め込んだもの (PD3) の 3 種類 PD を作製した。デバイス作製には n 型バルク基板上に p 型エピタキシャル層を 5 μm 形成した 4H-SiC 基板を用いた。p エピ層の濃度は  $N_A = 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  であり、不純物は Al である。デバイスの作製プロセスは以下手順で行った。まず、PD 領域、nMOSFETs の S/D 領域、基板へのコンタクト領域形成のため、APCVD による SiO<sub>2</sub> 膜をハードマスクとした 500°C 高温イオン注入を行った。p+, n+, n- のイオン注入濃度はそれぞれ  $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ,  $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ,  $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  である。活性化アニール後、SiO<sub>2</sub> パッシベーション層を形成し、1150°C のドライ酸化により膜厚 23 nm のゲート酸化膜を形成した。オーミックコンタクトには Nb と Ni のシリサイドを使用した。最後に、ゲートメタル、配線、遮光膜、電極のため、Al と SiO<sub>2</sub> 層の多層構造を形成した。作製したデバイスに 4 MGy までガンマ線照射を行った。作製した 3 種類の PD に波長 240 nm から 370 nm まで UV 光を照射し、光電流を測定することで量子効率を算出した。0 Gy と 4 MGy での量子効率の変化を Fig. 1 に示す。4 MGy 照射後ではすべての PD で量子効率が低下している。これはガンマ線照射により界面準位密度が増加し、それが電子-ホールペアの再結合の中心となることで信号が消失しているためと考えられる。量子効率の低下は波長 250 nm で比較すると PD1 が 69 % → 19 %、PD2 が 76 % → 31 %、PD3 が 75 % → 33 % であり、埋め込み型である PD2、PD3 は量子効率低下が抑えられている。これは表面の p 型領域のポテンシャルにより信号電荷が界面準位に捕縛されにくくなっているためだと考えられる。これらから埋め込み型 PD がガンマ線による量子効率低下の軽減に有効であることを確認した。

【謝辞】本研究の一部は JSPS 科研費(S) JP24H00035、F-REI 福島国際研究教育機構「廃炉向け遠隔技術高度化及び宇宙分野への応用事業」、および文部科学省次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業「集積 Green-niX 研究・人材育成拠点」の助成を受けたものです。

[1] M. Tsutsumi, T. Meguro, A. Takeyama, T. Ohshima, Y. Tanaka, and S.-I. Kuroki, IEEE EDL, 44(1), 100 - 103 (2023).

[2] T. Meguro, A. Takeyama, T. Ohshima, Y. Tanaka, S.-I. Kuroki, IEEE EDL, 43(10), 1713 - 1716 (2022).

[3] T. Meguro, M. Tsutsumi, A. Takeyama, T. Ohshima, Y. Tanaka and S.-I. Kuroki, APEX, 17, 081005-1 - 081005-5 (2024).

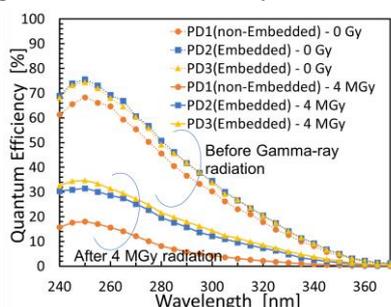


Fig. 1 Quantum Efficiency before and after 4 MGy

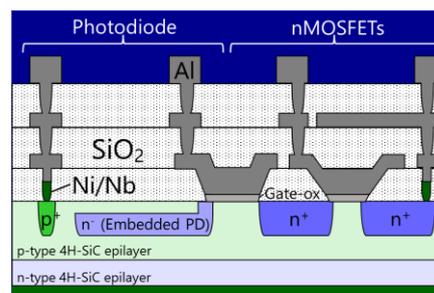


Fig. 2 The cross-sectional image of the fabricated 4T-APS with the embedded UV PD