## 透明基板上単結晶 GeSn n<sup>+</sup>/p 接合フォトダイオードの作製と評価 Fabrication of Single-Crystalline GeSn n<sup>+</sup>/p Photodiode on Transparent Substrate 阪大院工<sup>0</sup>岡 博史, 井上 慶太郎, 冨田 崇史, 和田 裕希, 細井 卓治, 志村 考功, 渡部 平司 Osaka Univ.<sup>0</sup>H. Oka, K. Inoue, T. Tomita, Y. Wada, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe E-mail: oka@asf.mls.eng.osaka-u.ac.jp

【緒言】IV 族混晶である GeSn は Sn の添加によりバンドギャップ縮小と共に間接遷移型から直接 遷移型に変調することから Si フォトニクスにおける近赤外帯域(1.55~5 µm)での発光・受光材 料として期待されており、これまでに Si 基板上エピタキシャル GeSn 層からのレーザー発振も報 告されている[1]。一方、我々は透明基板上に高品質な単結晶 GeSn 層を形成する手法としてアモ ルファス GeSn 細線の局所溶融による横方向液相成長を提案しており[2]、フォトルミネッセンス (PL)測定により Sn 添加と引張歪み印加に起因した発光強度の顕著な増大を確認している[3,4]。 本研究では透明基板上での IV 族ベース近赤外イメージング素子実現を目指し、石英基板上単結晶 GeSn 層への P イオン注入により n<sup>+</sup>/p 接合フォトダイオードを作製し、光応答特性を評価した。

【実験及び結果】石英基板を洗浄後、分子線蒸着により膜厚 230 nm のアモルファス GeSn 層(膜中 Sn 組成 2%)を成膜し、ドライエッチングで細線状(幅 6 µm、長さ 300 µm)に加工した。厚さ 1 µm の SiO<sub>2</sub>キャップ層を成膜した後、赤外線ランプを用いた局所急速加熱(938°C, 1 s)により単結晶成長を促した[2]。SiO<sub>2</sub>キャップ層を 50 nm まで薄層化し、フォトレジストによりイオン注入マスクを形成した後、単結晶 GeSn 細線に P イオンをドーズ量 2×10<sup>15</sup> cm<sup>-2</sup>、加速エネルギー40 keV で注入した。窒素雰囲気中で 500°C、5分間の活性化アニールを施した後、AI コンタクトを形成し、石英基板上に単結晶 GeSn n<sup>+</sup>/p 接合ダイオードを作製した(Fig. 1)。Fig. 2 に PL 測定により取得した発光スペクトルを示す。石英基板上 GeSn 細線では Sn 添加(~2%)と引張歪み印加(~0.6%)に起因して Ge 基板に対するレッドシフトが見られ、また P イオン注入領域では発光強度がノンドープ GeSn の約 2 倍になっており、高濃度 n 型ドーピングによる直接遷移発光増大を確認した。作製した石英基板上 GeSn n<sup>+</sup>/p 接合ダイオードの電流・電圧特性を Fig. 3 に示す。オン/オフ比が 3 桁以上の明瞭な整流性が見られ、0.5 V における暗電流密度は約 0.1 A/cm<sup>2</sup> とこれまでに報告されている Si 基板上 GeSn pn ダイオードを下回る値が得られた。また波長 1.55 µm の光照射に対する良好な光応答を確認し、透明基板上でのフォトディテクター動作を実現した。

【謝辞】本研究の一部は JSPS 科研費(16J00819)の助成を受け行われた。

【参考文献】[1] S. Wirths *et al.*, Nat. Photon. **9**, 88 (2015). [2] H. Oka *et al.*, Appl. Phys. Lett. **110**, 032104 (2017). [3] H. Oka *et al.*, Tech. Dig. IEDM, 580 (2016). [4] H. Oka *et al.*, VLSI Technol., T58 (2017).



Fig. 1 Device structure and optical image of singlecrystalline GeSn  $n^+/p$  diode fabricated on quartz substrate.

Fig. 2 Photoluminescence spectra of undoped and  $P^+$ -implanted GeSn wires on quartz substrate.

Fig. 3 Dark current and photocurrent of GeSn photodetector on quartz substrate under NIR illumination ( $\lambda = 1.55 \,\mu$ m).