イオン注入基板による Ge_{1-x-y}Si_xSn_y エピタキシャル層の歪緩和促進 Enhancement of Strain-relaxation for Ge_{1-x-y}Si_xSn_y Epitaxial Layer

Using Ion-implanted Ge Substrate

[°]祖父江秀隆¹、福田雅大¹、中塚理^{1,2}、財満鎭明³

(1.名古屋大院工、2.名古屋大未来研、3.名古屋大未来社会創造機構)

[°]Hidetaka Sofue¹, Masahiro Fukuda¹, Osamu Nakatsuka^{1,2}, and Shigeaki Zaima³

(1. Grad. Sch. of Eng., Nagoya Univ., 2. IMaSS, Nagoya Univ., 3. IIFS, Nagoya Univ.)

E-mail: nakatuka@alice.xtal.nagoya-u.ac.jp

【はじめに】高 Sn 組成化および伸長歪導入された Ge_{1-x}Sn_x 混晶は高キャリア移動度化[1]や直接遷移化[2]による発光素子や高移動度トランジスタへの応用が期待されている。一方、Ge_{1-x-y}Si_xSn_y 三元混晶は格子定数とエネルギーバンド構造を独立に制御でき[3]、これを用いたヘテロ接合は光 電子素子やトランジスタ応用にも多くの利点がある。Ge よりも格子定数の大きな歪緩和 Ge_{1-x-y}Si_xSn_yを用意できれば、歪緩和 Ge_{1-x}Sn_x層の下地層に活用するとともにキャリア閉じ込めに 有用なヘテロ界面バンドオフセットも形成できるが、従来、効果的な歪緩和は困難な状況もあっ た。今回、Si_{1-x}Ge_x において実績のあるイオン注入基板を用いたエピタキシャル層の歪緩和法[4] に注目し、Ge_{1-x-y}Si_xSn_y層の歪緩和促進による大格子定数バッファ層の形成を試みた。

【試料作製】自然酸化膜除去後の p-Ge(001)基板へ、加速電圧 20 kV、ドーズ量 3.0×10¹⁴ cm⁻²の条件で B イオン注入を施した。この基板に化学洗浄および超高真空中熱処理による表面清浄化を施し、分子線エピタキシ法を用いて、成長温度 100 ℃ において膜厚 100 nm の Sb ドープ Ge_{1-x-y}Si_xSn_y 層を成長した。Ge_{1-x-y}Si_xSn_y層の Si および Sn 組成はそれぞれ 2%および 12%であり、また設計 Sb ドープ量を 10¹⁸ cm⁻³ とした。

【結果および考察】イオン注入 Ge 基板の熱清浄化前後、および Ge_{1-x-y}Si_xSn_y層成長後における反 射高速電子回折 (RHEED) パターンを Fig. 1(a)–(c)に示す。熱処理によりストリーク状のパターン がより明瞭になり、基板表面へのイオン注入損傷の回復が示唆される。Ge_{1-x-y}Si_xSn_y層成長後にお いてもストリーク状のパターンが観察され、Ge_{1-x-y}Si_xSn_y層のエピタキシャル成長を確認できる。 Ge_{1-x-y}Si_xSn_y層成長試料の X 線回折 2 次元逆格子空間マップ (XRD-2DRSM) を Fig. 2 に示す。 Ge_{1-x-y}Si_xSn_y 224回折ピークの位置から形成した Ge_{1-x-y}Si_xSn_y層の歪緩和率は 92%と見積もられ、 この格子定数は Sn 組成 10.3%の Ge_{1-x}Sn_x に匹敵する。イオン注入による基板表面近傍への欠陥導 入が、歪緩和を誘発することを示唆する結果である。この Ge_{1-x-y}Si_xSn_y層をバッファ層として用 いることで直接遷移化の期待できる高 Sn 組成かつ高い結晶品質を有する無歪 Ge_{1-x}Sn_x層の形成が 期待できる。

【参考文献】 [1] B. Mukhopadhyay *et al.*, Phys. Status Solidi B. **254**, 1700244 (2017). [2] G. Sun *et al.*, Opt. Exp. **18**, 19957 (2010). [3] R. Ranjan *et al.*, Opt. Quant. Electron **48**, 1. (2016). [4] K. Sawano *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **42**, L735 (2013).

(a)
(b)
(c)

Fig. 1. RHEED patterns (a) before flashing, (b) after flashing, and (c) after the growth of the $Ge_{1-x-\nu}Si_xSn_{\nu}$ layer.



Fig. 2. XRD-2DRSM result around the 224 reciprocal lattice for the $Ge_{1-x-y}Si_xSn_y$ /ion-implanted Ge sample.