

ストレスライナーによる Ge 細線への一軸引張歪み印加と バンドギャップ変調

Bandgap modulation in Ge wire due to uniaxial tensile strain induced by stress liner

阪大院工, °田中 章吾, 岡 博史, 富永 幸平, 天本 隆史, 小山 真広, 細井 卓治, 志村 考功, 渡部 平司

Osaka Univ., °S. Tanaka, H. Oka, K. Tominaga, T. Amamoto, M. Koyama, T. Hosoi, T. Shimura
and H. Watanabe

E-mail: s-tanaka@asf.mls.eng.osaka-u.ac.jp

【はじめに】ゲルマニウム(Ge)は間接遷移型半導体であるが、 Γ 点とL点の伝導帯下端のエネルギー差は 136 meV と小さく、引張歪みの印加によって発光効率の高い直接遷移型バンド構造に変調可能であることが知られている。一軸歪みでは $\langle 100 \rangle$ 方向への 4.6%以上の引張歪みにより直接遷移型バンド構造に変調するという理論計算予測がなされている[1]。近年では、貼り合わせ法により作製した 0.2%程度の二軸引張歪みを有する GOI(Ge-On-Insulator)基板を用い、ダンベル型架橋構造に加工し応力を集中することで、最大 5.7%の一軸引張歪みを誘起した Ge の大幅なバンドギャップ変調と発光効率向上が実験的にも報告されている[2]。本研究ではストレスライナー(印加膜)を用いた Ge 細線への一軸引張歪みの印加を検討し、それに伴うバンド構造変調の評価を行った。

【実験および結果】GOI 基板の Ge 層(膜厚:47 nm、初期歪み:0.08%以下)をリソグラフィと反応性イオンエッチングによってダンベル形状に加工した(Fig. 1 (a))。このときダンベルの持ち手部分(細線)が $\langle 100 \rangle$ 方向となるように配置した。その後、ダンベルの両端部分(パッド)にストレスライナーとして引張応力を有する W 膜(100 nm 厚)をスパッタリング法により堆積した[3]。このとき、W 膜中の内部応力が 890 MPa となる成膜条件を適用した。続いて HF 溶液に浸漬して BOX 層(100 nm)のエッチングを行い、ダンベル全体を架橋構造とすることで W 膜の内部応力を Ge 細線(幅:2.5 μm 、長さ:10 μm)に集中し、 $\langle 100 \rangle$ 方向に一軸引張歪みを印加した(Fig. 1 (b))。顕微ラマン分光測定により、パッド長が 20 μm から 160 μm と長くなるほど、Ge-Ge ピークの低波数側へのシフトを確認した(Fig. 2)。このことは、パッド長の設計による歪み量の制御が可能であることを意味しており、パッド長が 160 μm のときの一軸引張歪み量は 1.9%と見積もられた[4]。Fig. 3 に Ge 細線より取得した PL (Photoluminescence) スペクトルを示す。パッド長が長いほど PL スペクトルがレッドシフトしており、引張歪み印加によりバンドギャップが減少していることがわかる。パッド長 160 μm では、約 0.74 eV(1680 nm)と約 0.68 eV(1820 nm)に 2 つのピークが見られた。この 2 つの発光ピークは引張歪みの印加により価電子帯の軽い正孔と重い正孔のバンドの縮退が解けたことに起因していると考えられる[1]。

[1] C. G. Van de Walle *et al.*, Phys. Rev. **B39**, 1871 (1989). [2] D. S. Sukhdeo *et al.*, Photonics Res. **2**, A8 (2014).
[3] Y. G. Shen *et al.*, J. Appl. Phys. **87**, 1 (2000). [4] M. J. Suess *et al.*, Nat. Photonics **7**, 466 (2013)

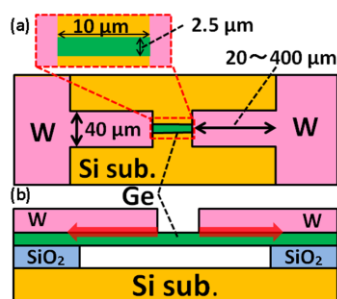


Fig. 1 Schematics of Ge dumbbell structure: (a) Top and (b) cross-sectional views.

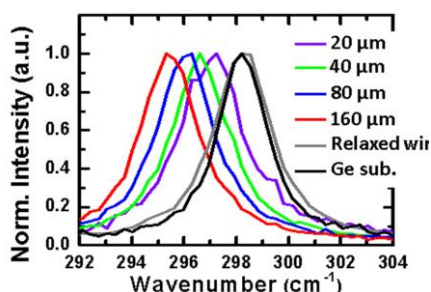


Fig. 2 Raman spectra of Ge wires with various W pad lengths.

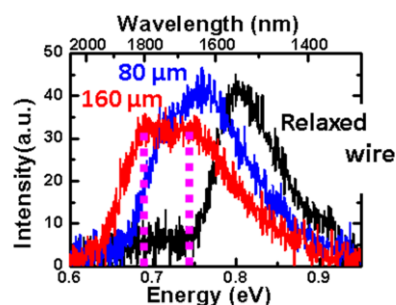


Fig. 3 Room-temperature PL spectra measured for the Ge wires with various W pad lengths.