2022 年　第 69 回応用物理学会春季学術講演会予稿 (2022.3.22-26, 青山学院大学+オンライン開催)

PL スペクトル解析による無歪 GeSn(Sn 9%)バンド構造の検討

Investigation on Band Structure of Unstrained GeSn (Sn 9%) by PL Spectra Analyses

明治大理工 [1], 明治大 MREL[2], 静大院工 [3], 静大電研 [4], imec[5], K. U. Leuven[6]
○佐竹 雄太 [1], 松永 静流 [1], 小笠原 凱 [1], 伊藤 佑太 [1], 横川 凌 [1,2],
志村 洋介 [3,4], Roger Loo[5], Anurag Vohra[5,6], 小椋 厚志 [1,2]
Meiji Univ.[1], MREL[2], Shizuoka Univ.[3], RIE Shizuoka Univ. [4], imec[5], K. U. Leuven[6]
○Yuta Satake[1], Shizuru Matsunaga[1], Gai Ogasawara[1], Yuta Ito[1], Ryo Yokogawa[1,2],
Yosuke Shimura[3,4], Roger Loo[5], Anurag Vohra[5,6], Atsushi Ogura[1,2]
E-mail: ce201023@meiji.ac.jp

【序】 Ge は間接遷移型半導体だが，Sn 添加や引張歪の印加でバンドギャップが縮小し，直接遷移型半導体への変調が可能である．高効率の発光・受光材料としての応用を目的として，Ge を直接遷移化するために必要な Sn 組成が検討されている．本報告では，歪印加によるバンドギャップ縮小と Sn 添加によるバンドギャップ縮小を分けて議論するため，無歪 GeSn(Sn 9%)の PL 測定で検出された発光線の帰属を以前の報告 [1]より詳細に考察し，そのバンド構造を議論する．

【測定方法】 測定試料には，CVD 法を用いて Si 基板(膜厚：0.7 mm)上に Ge バッファ層(膜厚：1 μm)および Sn 組成が 9%の GeSn 層(膜厚 870 nm)をエピタキシャル成長させたものを用いた．GeSn 膜の組成，および概ね無歪であることは事前に X 線回折で確認した．50~300 K において DPSS レーザ照射下(波長：532 nm，スポット径：50 μm)で励起光強度を 30~120 mW の範囲で変化させ，約 2.2 μm まで検出感度を有する InGaAs ダイオードアレイにより PL 光を検出した．

【測定結果および考察】 試料温度 50, 300 K で得られた無歪 GeSn(Sn 9%)の PL スペクトルを Fig. 1 に示す．50 K では約 0.61 eV と約 0.59 eV の位置にピークが観測され(以降 Peak 1，Peak 2 と表記)，それぞれ測定温度に関わらず Maxwell-Boltzmann および Gaussian 関数を用いて良好なフィッティングが得られた．バンド端発光はキャリア密度に関係するため Maxwell-Boltzmann 分布に従うことが知られている [2]一方で，不純物や欠陥が形成する局在準位起因の発光は Gaussian 等でフィッティングできることが多い．

両発光の由来を詳細に調査するため，Fig. 2 に示す励起光強度依存性を測定した．PL 強度 I と励起光強度 L の関係は $I \propto L^n$ と表すことができ，べき指数 n が PL 強度の励起光強度依存性を示す．Fig. 2 に示すように Peak 1 は n=1.74，Peak 2 は n=0. 96 となった．バンド端発光は $1 \leq n \leq 2$，局在準位起因発光は $n \approx 1$ となることが知られている [3,4]．したがって，ピーク形状と励起光強度依存性の観点から，Peak 1 はバンド端発光，Peak 2 は不純物もしくは欠陥由来の発光と言える．

Peak 1 の積分強度は，Fig. 3 に示すように温度上昇に伴って概ね増大した．Ge では、L 点に励起された電子が温度上昇に伴って Γ 点に流れ込み，Γ 点のバンド端発光強度が増大することが報告されている [5]．以上を踏まえて，本報告では当試料のバンド構造についても議論する．

GeSn(Sn 9%)の局在準位を確認し，バンド端発光を明らかにしたことで，バンド構造の議論を可能にした．

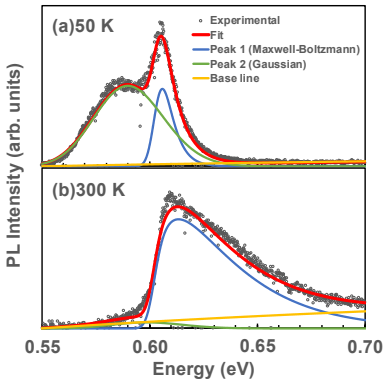

Fig. 1. PL spectra and fit to experimental data at (a) 50 K and (b) 300 K from unstrained GeSn (Sn 9%).

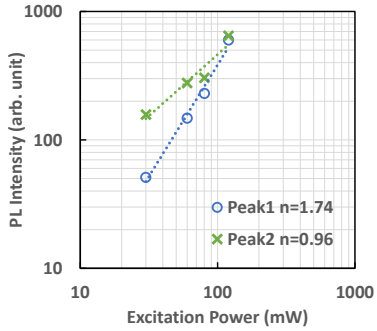

Fig. 2. Excitation power dependence of Peak 1 and Peak 2 intensities at 65 K.

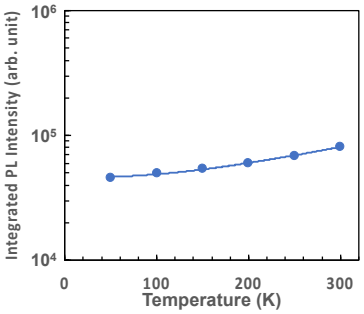

Fig. 3. Temperature dependence of integrated PL intensity of Peak 1 under excitation power of 120 mW.

1) 松永 他.:第 82 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 10p-N202-8, 2021.
2) I. Pelant and J. Valenta, *Luminescence Spectroscopy of Semiconductors* (Oxford, New York, 2012), Sect. 5.3, p. 132.
3) Y. Ishikawa *et al.*: Jan. J. Appl. Phys. **58**, 076502 (2019).
4) 朝原 他.:第 81 回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 11p-Z12-4, 2020.
5) X. Sun *et al.*: Appl. Phys. Lett. **95**, 011911 (2009).

© 2022年 応用物理学会