

$\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ 三元混晶薄膜のエピタキシャル成長および結晶性評価

Epitaxial growth and characterization of $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ ternary alloy thin films

○山羽 隆^{1, 2}、矢野翔太¹、高橋恒太¹、黒澤昌志^{1, 3}、坂下満男¹、中塚理¹、財満鎮明^{1, 3}

(1. 名古屋大院工、2. 学振特別研究員、3. 名古屋大エコトピア)

○T. Yamaha^{1, 2}, S. Yano¹, K. Takahashi¹, M. Kurosawa^{1, 3}, M. Sakashita¹, O. Nakatsuka¹, and S. Zaima^{1, 3}

(1. Grad. Sch. of Eng., Nagoya Univ., 2. JSPS Research Fellow., 3. EcoTopia Sci. Inst., Nagoya Univ.)

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

【背景】IV族三元混晶 $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ は、Sn組成10%以上およびC組成6%以上において、バンドギャップが1.4 eVとなることが予測され、新規太陽電池材料として期待できる。また、混晶組成制御によってバンドギャップおよび格子定数を独立に制御できることから、多接合型太陽電池への応用も期待される。一方、Si中へのSnおよびCの平衡固溶限は0.1%以下と非常に低く、特に $\text{Si}_{1-y}\text{C}_y$ においては、最大でもC組成3%の報告に留まっている[1]。近年、理論計算により、Si中におけるSn-C結合の安定性が報告されている[2]。また、実験的には、 $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ 中へのCイオン中によるSn析出の抑制やSn-C結合の安定性が報告されている[3]。しかし、 $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ のエピタキシャル成長に関する報告は非常に少ない。本研究では、 $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ 層のエピタキシャル成長を検証し、SnおよびCが混晶薄膜の結晶性に与える影響を評価した。

【試料作製】表面清浄化したSi(001)基板上に、基板温度350°CにおいてRFスパッタリング法により $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ 層を堆積した。 $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ 層のSnおよびC組成は、それぞれ0~4%および0~6%とした。

【実験結果】Fig. 1に成長温度350°Cにおける $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y/\text{Si}$ のX線回折 (XRD) 2θ-ωプロファイルを示す。Sn組成4%およびC組成2%の $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ においては、明瞭な回折ピークが見られ、エピタキシャル成長を確認できる。また、干渉フリンジから、急峻な界面の形成されていることがわかる。さらにC組成が4%に増加すると、明瞭な回折ピークが消え、結晶性の悪化が示唆される。一方、C組成4%およびSn組成6%の試料においては、明瞭な回折ピークが確認される。この結果から、導入Sn組成の増大により、 $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ エピタキシャル層の結晶性を改善できることがわかる。また、Fig. 2に示す走査電子顕微鏡 (SEM) 像から、Sn組成4%の $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ 二元系薄膜の表面においては、粒径50~100nmの析出物が観察される。これらはSnの析出物と推測される。一方、C組成2%を導入した $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ 三元混晶膜においては、析出物が減少することがわかる。つまり、CおよびSnの同時添加によるSn析出の抑制が期待できる。

X線光電子分光 (XPS) を用いた組成評価から、ある $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ エピタキシャル層中のSnおよびC組成は4.2%および2.7%と見積もられ、平衡固溶限を超える $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ の成長を実証できた。ベガード則に基づく計算を行うと、この組成の $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ のバンドギャップは1.2 eVと予測される。以上の結果より、Siのバンドギャップを超えるIV族混晶材料の可能性が見出された。

【参考文献】[1] M. Bauer *et al.*, Sci. Technol. **22**, S183 (2007). [2] R. Matsutani *et al.*, Physica Status Solidi C **11**, 1718 (2014). [3] P. I. Gaiduk *et al.*, Appl. Phys. Lett. **104**, 231903 (2014).

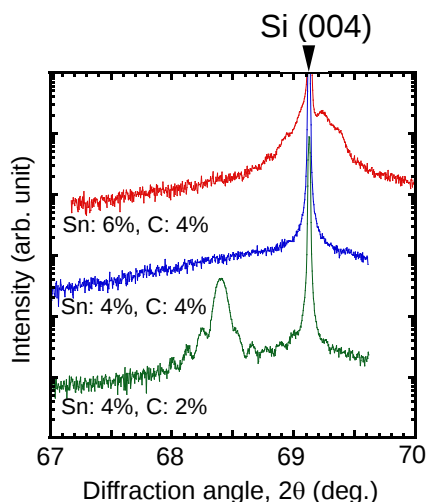


Fig. 1 XRD 2θ/ω profiles for $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y/\text{Si}$ samples with various Sn and C contents.

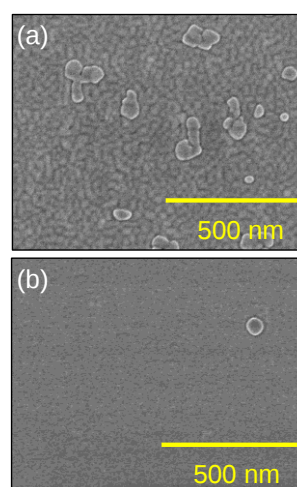


Fig. 2 SEM images of (a) $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ with an Sn content of 4% and (b) $\text{Si}_{1-x-y}\text{Sn}_x\text{C}_y$ with Sn and C contents of 4% and 2%.