

窒化銅エピタキシャル薄膜の p/n 型伝導制御

Controlling p/n conduction in copper nitride epitaxial films

東工大元素戦略¹, 東工大応セラ² ○松崎 功佑^{1,2}, 細野 秀雄^{1,2}, 須崎 友文^{1,2}MCES Tokyo Tech¹, MSL Tokyo Tech²,°Kosuke Matsuzaki^{1,2}, Hideo Hosono^{1,2}, and Tomofumi Susaki^{1,2}

E-mail: matsuzaki@lucid.msl.titech.ac.jp

【緒言】環境負荷の低いありあふれた元素を用いた p/n 両極性半導体材料の探索は、太陽電池や CMOS などの両極性半導体を要求される素子開発において重要である。これらの材料群の中で窒化銅 (Cu_3N) はバンドギャップが 1.0 - 1.9 eV の間接遷移型半導体であり、その光吸収係数が 10^5cm^{-1} 以上と大きいことから薄膜太陽電池の吸収材料候補の 1 つとして有望である[1,2]。 Cu_3N は多くの Cu^+ を含む p 型半導体 (Cu_2O , Cu_2S など) と異なり多くは n 型伝導とされ、p 型伝導はほとんど報告されていない[2,3]。本研究では非平衡プロセス下で Cu/N の原料供給比を厳密に制御することで、 Cu_3N エピタキシャル薄膜の p 型および n 型の伝導制御に成功したので報告する。

【実験】RF-MBE 法により窒化銅 (Cu_3N) 薄膜を $\text{SrTiO}_3(100)$ 基板に作製した。基板温度を 100°C 、窒素ラジカル源の出力を 500W とし Cu の供給量をエフュージョンセルにより制御した。得られた薄膜の結晶構造を高分解能 X 線回折(HR-XRD)で評価した。キャリアタイプは Hall 効果と Seebeck 効果により判別し、また Hall 移動度およびキャリア濃度はファンデアパウ法により測定した。

【結果】HR-XRD より Cu_3N 薄膜は $(100) \text{Cu}_3\text{N} // (100) \text{SrTiO}_3$ (面直)、 $(010) \text{Cu}_3\text{N} // (010) \text{SrTiO}_3$ (面内)の関係でエピタキシャル成長しており、面直と面内のロッギングカーブ半値幅はそれぞれ $\sim 1.3^\circ, \sim 1.2^\circ$ であった。薄膜成長レートが 11nm/h 以下ではキャリアタイプは p 型、正孔濃度 $10^{18} \sim 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 、 12nm/h 以上では n 型、電子濃度 $10^{19} \sim 10^{20} \text{cm}^{-3}$ であり p 型、n 型の起源がそれぞれ Cu 欠損 (N 過剰)、N 欠損 (Cu 過剰) と示唆された。また Seebeck 係数は p 型領域では $+40 \sim +200 \mu\text{VK}^{-1}$ 、n 型領域では $-50 \sim -100 \mu\text{VK}^{-1}$ であり、p/n 両極性の実現が Hall 効果と Seebeck 効果の両方で確認された。

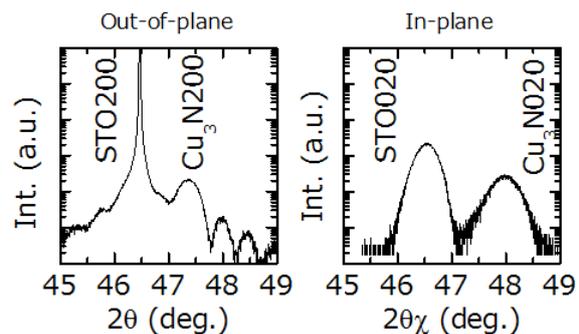


図 1 $\text{SrTiO}_3(100)$ 単結晶基板上に成長させた Cu_3N 薄膜の高分解能 XRD パターン

[1] Wang et al., J. Vac. Sci. Technol. A **16**, 2084 (1998).

[2] Yue et al., J. Appl. Phys. **98**, 103506 (2005).

[3] Zakutayev et al., J. Phys. Chem. Lett. **5**, 1117 (2014).