ナノ結晶 β-$FeSi_2$/Si 複合薄膜のキャリア密度制御

Control of carrier density for nanocrystalline-β-$FeSi_2$/Si composite thin films

明大理工, °城所拓海，松田朋大，勝俣裕

Meiji Univ., °Takumi Kidokoro, Tomohiro Matsuda, Hiroshi Katsumata

E-mail: katumata@meiji.ac.jp

【はじめに】近年，高い安全性と高容量化が期待される，無機半導体を利用した全固体二次電池が提案されている[1, 2]。Si 膜中にナノ結晶(nc)β-$FeSi_2$ を含有した β-$FeSi_2$/Si 複合薄膜は，半導体固体電池の充電層として働く可能性があるが，素子を作製する上で pn およびキャリア密度の制御が必要である。現在，得られている複合薄膜の最大の電子/正孔密度は各々1.3×10^{17}cm^{-3}，1.7×10^{17}cm^{-3} である。本研究では，アニール時のオストワルド熟成[3]による抵抗率の増大（キャリア密度の減少）を抑制するために，原料である Fe を増やすことで膜中のナノ結晶を増やすことおよびアニール温度およびアニール時間を制御してキャリア密度の増大を図った。本研究では n 型 β-$FeSi_2$/Si 複合薄膜と Mn 添加 p 型 β-$FeSi_2$/Si 複合薄膜の電気伝導性を評価した。

【実験方法】Si ターゲット(5N, φ101.6×t5 mm)上に，Fe チップ(4N, 5×5×t1 mm)3 個又は 6 個を同心円状に配置し， Mn チップ(3N, 5×5×t1 mm)0～2 個を Si ターゲットの中心に配置して，RF マグネトロン共スパッタリング法により，石英ガラス又はサファイア基板上に Fe, Mn 添加 Si 膜を成膜した。Fe チップのみを使用して作製した試料を「Mn 無添加」とし，Fe チップと Mn チップを使用して作製した試料を「Mn 添加」とする。その後，Ar ガス雰囲気中にて T_a=500–850 °C，t_a=30 min–5 h でアニールを行い nc-β-$FeSi_2$/Si 複合薄膜の形成を試みた。試料は XRD，透過・反射スペクトル，ホール効果測定,インピーダンス測定等により評価した。

【結果と考察】Fig. 1 および Fig. 2 に各々Fe/Mn チップ=3/1 個で成膜した Mn 添加試料の抵抗率および正孔密度・移動度のアニール時間依存性（T_a=550 °C）を示す。両図からアニール時間の増加に伴う抵抗率の上昇とキャリア密度の減少が見られる。これらの結果は，Mn が Fe サイトに置換することにより p 型化した nc-β-$FeSi_2$ を介した電気伝導が生じていること，その電気伝導はホッピング伝導に起因し[4]，アニール時間の増加に伴う nc-β-$FeSi_2$ のオストワルド熟成により，ホッピング距離が増大し，抵抗率の増大・キャリア密度の減少を生じていることを示唆している。以上の結果より，アニール時間により正孔密度の制御が可能と言える。謝辞:本研究成果は JST 研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラム A-STEP トライアウト JPMJTM20DE の支援を受けた。

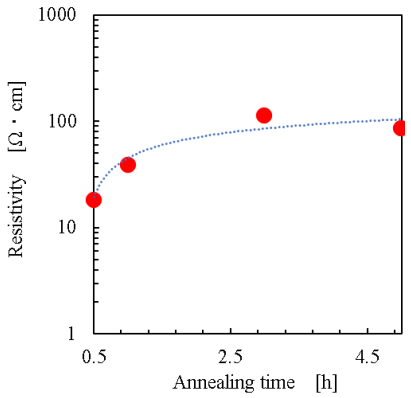

Fig. 1 Annealing time dependence of resistivity.

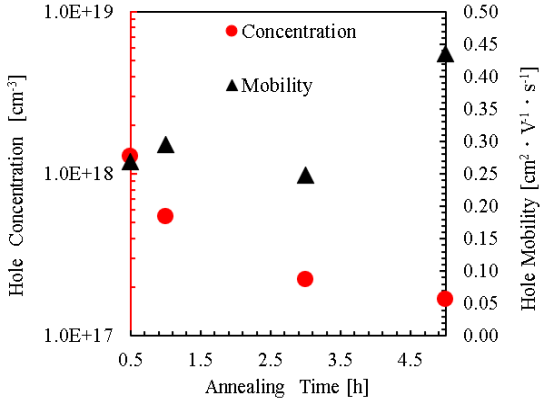

Fig. 2 Annealing time dependence of hole density and mobility.

[1] A. Nakazawa, US patent, US9887441B2 (2018).[2] A. Sasaki et al., Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 041201 (2018).

[3] S. Mantl, Materials Science Reports, **8**, pp. 50-54 (1992).

[4] Yuta Saito et al., JJAP Conf. Proc. **8**, 011301 (2020).

© 2022年 応用物理学会