Sb ドーピングによる β-FeSi2 エピタキシャル膜の電子密度制御

Control of electron density in β-FeSi2 epitaxial films by Sb doping

九工大情報工,〇飯沼元輝,江口 元,村社尚紀,星田裕文,寺井慶和

Kyushu Inst. of Tech., ^OM. Iinuma, H. Eguchi, N. Murakoso, H. Hoshida, Y. Terai

E-mail: m232005m@mail.kyutech.jp

【はじめに】 これまで我々は、MBE 法により低電子密度(2×10¹⁶ cm⁻³)の n 型 β -FeSi₂エピタキ シャル膜(無添加試料)の作製に成功し、その無添加試料への Al ドーピングにより p 型 β -FeSi₂の正 孔密度制御(~10¹⁹ cm⁻³)にも成功している[1]. デバイス設計上, p および n 型のキャリア密度制御 は不可欠であるが、我々のエピタキシャル膜では n 型の電子密度制御は行えていない. これまで、 溶液成長法で作製した β -FeSi₂単結晶では、溶媒の Sb が結晶内に取り込まれ電子密度が増加した と報告されている[2]. よって、Sb は β -FeSi₂ の n 型ドーパントとして機能すると期待されるが、 Sb 添加 β -FeSi₂エピタキシャル膜の作製報告例はない. そこで、本研究では Sb 添加 β -FeSi₂エピ タキシャル膜を作製し、Sb 添加による電子密度制御について検証したので報告する.

【実験方法】 テンプレートを用いた MBE 法により,成長温度 670 °C で 200 nm の β -FeSi₂エピ タキシャル膜を FZ-Si(111)基板($\rho > 1-2 k\Omega \cdot cm$)上に成長させた. 各原料の供給量は Si: 0.2 Å/sec, Fe: 0.08 Å/sec とした. Sb は k-cell により添加し, Sb k-cell 温度(T_{Sb})を 250-400 °C で変化させた. 成長後, Al オーミック電極を作製し, van der Pauw 法により電気特性を評価した. また, ラマン スペクトルを測定し, 膜中への Sb 添加について検証した.

【結果】 RHEED パターンより,全試料でエピタキシャル成長が確認された.室温のホール効果 測定では,無添加試料および全ての Sb 添加試料で n 型伝導が確認された. Fig. 1 に(a)電子密度,

(b)移動度の Sb k-cell 温度依存性を示す. $T_{Sb} \ge 350 \,^{\circ}$ C の 領域では T_{Sb} の増加に伴い電子密度が増加し,移動度が 減少することが明らかとなった.この結果は Sb が膜中 に添加され、ドナーとして機能したためと考えられる. また、水晶振動子で測定した $T_{Sb} = 400 \,^{\circ}$ C での Sb 供給 量は 0.57 Å/sec であり、Si, Fe の供給量より多い分子線 強度であった.次に、これら試料で測定した β-FeSi₂中 の対象伸縮モード(Ag モード)のラマンスペクトルを Fig. 2 に示す. Fig. 2(a)は Fe-Fe (~248 cm⁻¹)の Ag モード, Fig. 2(b)は Si-Si (~491 cm⁻¹)の Ag モードをそれぞれ示す. 両方の散乱ピークにおいて、 $T_{Sb} \ge 350 \,^{\circ}$ C の領域で T_{Sb} の上昇に伴う低波数側へのシフトが観測された.これ は原子質量の重い Sb が Fe および Si サイト置換した結 果であり、供給した Sb が β-FeSi₂の格子位置に置換さ れたと考えられる.

今回, Sb が β -FeSi₂の n 型ドーパントとして機能す ることを明らかにしたが,得られた最大の電子密度は 8×10¹⁶ cm⁻³ (T_{Sb} = 400 °C)であり,制御範囲としてはま だ狭い. Si, Fe よりも Sb 供給量は多いが,成長面での Sb 再蒸発量も多いと考えられる.また,Sb が Fe と Si の両サイトに置換しているため,補償効果により電子 密度が低くなっている可能性もある.今後,添加条件 の最適化を行い,Sb による電子密度の制御範囲を明ら かにする予定である.

Y. Terai, *et al.* Phys. Status Solidi C **10**, No. 12, 1696 (2013).
H. Kannou, *et al.* Thin Solid Films **461**, 110 (2004).



Fig. 1 Sb k-cell temperature dependence of (a) electron density, (b) mobility.



Fig. 2 Sb k-cell temperature dependence of Raman spectra (a) at 248 cm⁻¹, (b) at 491 cm⁻¹.