

Fe₃Si 薄膜のエピタキシャル成長

電子技術部 電子材料チーム

秋山賢輔
門脇貞子
金子智
平林康男

Si をベースとした電子デバイスの小消費電力・高性能化は、ダウンサイジングすることにより対応してきた。しかし、チップ内の配線幅を 45nm と極限にまで微細化した今日では、その物理的限界が指摘されており新たな技術をシリコン・テクノロジーに導入することが求められている。半導体スピネレクトロニクスは“スピン”というこれまで半導体エレクトロニクスの世界には関わってこなかった物理量を積極的に利用するより上位概念のデバイスである。本研究では、格子サイズからシリコン上に結晶成長し、スピネレクトロニクス・デバイスへの応用が期待される Fe₃Si 薄膜のエピタキシャル成長に関して報告する。

キーワード：薄膜，シリサイド磁性材料，エピタキシャル成長，酸化物

1 はじめに

Fe-Si系化合物には半導体相のβ-FeSi₂相，金属相のα-FeSi₂相，強磁性層のFe₃Si相が安定相として存在し(図1)，組成比と結晶構造の変化によってバンド構造及び電子スピンの制御が可能となる。これらのうち，結晶格子の比較からβ-FeSi₂相とFe₃Si相はシリコン基板上にエピタキシャル成長が期待される。我々はこれまでβ-FeSi₂薄膜をSiやYSZ(イットリア安定化ジルコニア)基板をはじめとする種々の基板上へのエピタキシャル成長を検討し，結晶構造解析や発光特性調査を行った¹⁾²⁾。さらにFe₃Si相の結晶成長が可能となれば，磁性と半導体特性を組み合わせた新しいデバイスへの可能性が高まる。そこで本研究では強磁性層のFe₃Si相のエピタキシャル成長について検討を行った。

2 実験方法

マグネトロンスパッタリング法でマグネシア{(100)MgO}，スピネル{(100)MgAl₂O₄}，イットリア安定化ジルコニア{(100)YSZ}及び石英(SiO₂)基板上にFe-Si薄膜を作製した。圧力3mTorrのアルゴン(Ar)ガス雰囲気中で，基板温度及び堆積速度を750°C，1.5nm/minで約100nmの薄膜を製膜した。ターゲットには鉄(Fe)ディスクを使用し，上に乗せるSiチップの面積を変えることで組成比を制御した。これらの薄膜について構成相及び結晶構造の評価にはX線回折評価(XRD)を，組成比の評価には標準サンプルで校正された蛍光X線(XRF)とラザフォード後方散乱分光分析(RBS)を用いた。

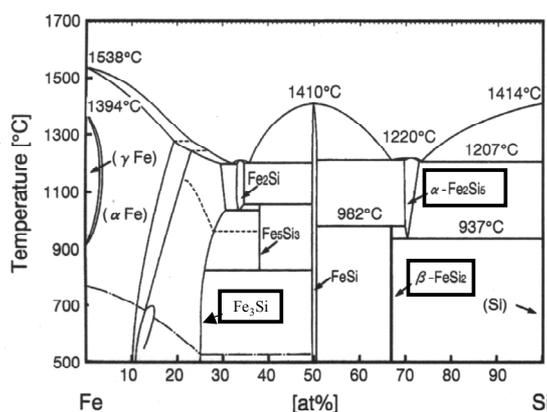


図1 Fe-Si系の二元状態図³⁾

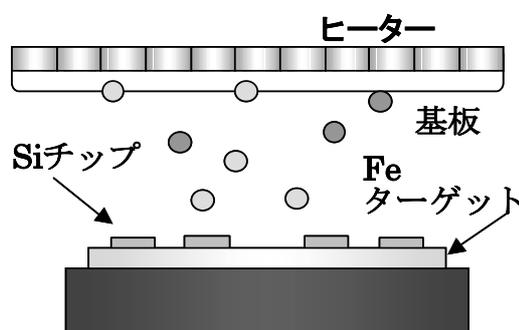


図2 Fe-Si 薄膜作製の概要図

3 結果

図3に(100)MgO，(100)MgAl₂O₄，(100)YSZ及びSiO₂基板上に作製したFe-Si薄膜のX線回折スキャンプロファイル結果を示す。組成比はFe:Si=約3:1であることを確認

した。SiO₂上では殆ど結晶化していないものの、(100)YSZ上には多結晶膜が、(100)MgO、(100)MgAl₂O₄基板上には(100)面が単一配向したFe₃Si膜が形成されることが確認された。さらにX線極点評価より、これら単一配向膜のエピタキシャル成長が確認された。

デバイス作製のための積層構造を実現するには、膜表面が平滑であることが重要となる。図4に(100)MgO基板上に作製したエピタキシャルFe₃Si薄膜の表面平均粗さ(Ra)をAFMにて評価し、基板温度の依存性について調べた結果を示す。基板温度の上昇に伴いRaの増加が見られ、表面の粗さが増進されることが明らかとなったが、700°CでのRa=4nmは積層化可能な平滑膜の形成を示唆している。

図5に700°Cの基板温度で成長したエピタキシャルFe₃Si膜の磁気特性を振動試料型磁気評価装置(VSM)にて評価した結果を示す。飽和磁化(M_s)及び、保持力(H_c)は、それぞれ850emu/cm³、10 Oeであり、バルク結晶の報告値⁴⁾と同等であることが確認された。

謝 辞

本研究は、文部科学省の科学研究費補助金(No.18686003)の助成を受けて行われた。

文 献

- 1) K. Akiyama, S. Kaneko, Y. Terai, Y. Maeda, T. Kimura, and H. Funakubo ; Jpn. J. Appl. Phys. **44**, L303 (2005).
- 2) K. Akiyama, S. Kaneko, H. Funakubo and M.Itakura ; Appl. Phys. Letter **91** (07), 1903 (2007).
- 3) R. P. Elliot (Ed.) Constitution of Binary Alloys, Suppl. **1**(1965), McGraw-Hill, New York.
- 4) J. Moss and P. J. Brown, J. Phys. F Metal Phys. **2**, 358(1972).

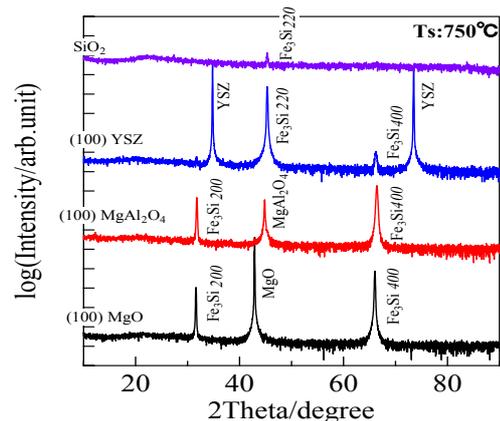


図3 それぞれの基板上薄膜のX線回折プロファイル

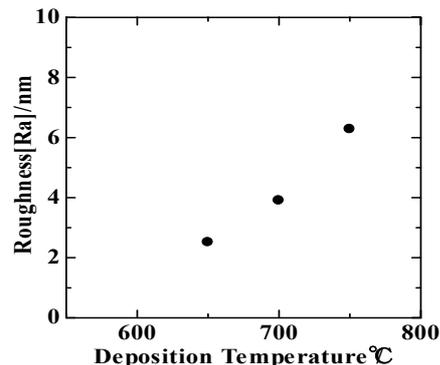


図4 (100)MgO基板上薄膜のRaの基板温度依存性

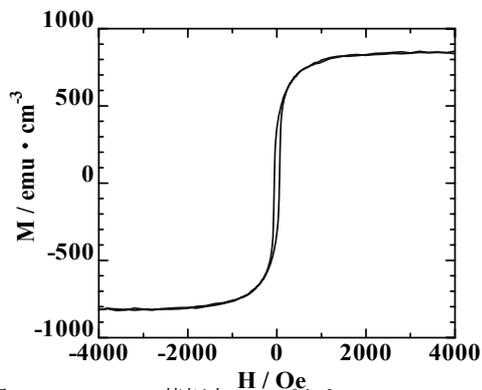


図5 (100)MgO基板上のエピタキシャルFe₃Si薄膜の磁気特性

Epitaxial Growth of Fe₃Si Thin Film

Kensuke AKIYAMA, Teiko KADOWAKI, Satoru KANEKO and Yasuo HIRABAYASHI

The performance of LSIs is required to be further improved to realize advanced information systems. Downsizing field-effect transistors is common approach to achieve high-speed operation with low power consumption. However, such conventional approach reaches to physical limits. Therefore, a new approach for advanced devices is strongly required. A spin transistor is a promising candidate. The integration of magnetism into semiconductor has been attracting much attention. Spin-polarized carrier injection from a ferromagnetic source into a semiconductor or from ferromagnetic-insulator-semiconductor (MIS) structure is one of the hot topics in this field. In this study, we succeeded in the epitaxial growth of Fe₃Si thin film as a ferromagnetic metal on the Si with buffer-layer, and on oxide insulating single crystal by magnetron-sputtering method. Those oxide insulators have been reported to epitaxially grow on Si substrate.