

(様式第4号)

実施課題名※ Cドープ半導体鉄シリサイド (FeSi₂) 薄膜の EXAFS による 構造評価

English The structural evaluation of Carbon doped semiconducting FeSi₂ films
by means of EXAFS measurement

著者氏名 吉武剛

English Tsuyoshi Yoshitake

著者所属 九州大学大学院総合理工学研究院融合創造理工学部門

English Department of Applied Science for Electronics and Materials, Kyushu
University

※長期利用課題は、実施課題名の末尾に期を表す (I)、(II)、(III) を追記すること。

1. 概要

Cドープ半導体鉄シリサイド(FeSi₂)薄膜の構造評価を前提として、今回はβ-FeSi₂およびナノ微結晶 FeSi₂ 薄膜の EXAFS による評価を行った。Fe 原子を中心としたスペクトル解析で得られた最近接原子間距離は約 0.2 nm と、Fe-Fe 原子に対応する結果が得られた。第2振動ピーク以上の領域においては、β-と NC-で大きな変化が表れており、これは NC 薄膜のダングリングボンド構造が影響しているものと考えられる。今後詳細な解析が必要であるが、本手法により FeSi₂ 薄膜の構造評価に関して有効な知見が得られることが分かった。

(English)

Semiconducting β-FeSi₂ and nanocrystalline FeSi₂ thin films were structurally evaluated by means of EXAFS measurement. The nearest neighbor atoms estimated from Fe oscillating motion spectrum, was approximately 0.2 nm. This value might correspond to the distance between Fe and Fe atoms. Owing to the existence of large amount of dangling bonds in NC-FeSi₂ films, the significant change in the second oscillating motion was appeared.

2. 背景と研究目的：

豊富な資源材料である鉄とシリコン 1:2 の組成から構成される半導体 FeSi₂ 薄膜は、近赤外域の光吸収に対応する間接遷移 0.85 eV バンドギャップ、赤外域における高い吸収係数 10⁵ cm⁻¹ など、太陽電池の赤外吸収層、フォトディテクター応用に関して興味深い物性を有している[1]。また、Si 基板にエピタキシャル成長可能であるため、既存の Si-LSI 技術が応用可能な次世代光エレクトロニクス材料としても注目されている。これまでに n 型β-FeSi₂ と p 型 Si のヘテロ接合フォトダイオードが試作され、典型的な整流特性、高い検出能力が確認されるなど実際のアプリケーションへの展望が見えてきている段階にある[2]。

またナノ微結晶(NC)FeSi₂は上記同様に新規な近赤外域半導体としておもしろいが、キャリア濃度が高すぎるためにデバイス応用が困難とされてきた。最近我々は微量なカーボンを膜中にドーピングすることでキャリア濃度を大幅に低減できることを見いだした。現時点では、C 原子のドーピング機構、結合サイトなど未だ分かっておらず、キャリア濃度低減のメカニズムの直接的な起源は明らかにされていない。

そこで本研究では、EXAFS による FeSi_2 および C ドープ FeSi_2 の構造分析を行う。具体的には Fe 原子を中心とした振動スペクトル抽出による解析を行い、Fe 隣接原子の構造変化を探った。

3. 実験内容 (試料、実験方法の説明)

【BL11】 1 日

EXAFS undoped FeSi_2 , undoped NC FeSi_2 , C-doped NC FeSi_2

スキャン範囲： 7.2 keV~8.5 keV (CEY 法)

アンドープ膜、C ドープ FeSi_2 薄膜に関して上記スキャン範囲で Fe の吸収端および EXAFS 振動スペクトルを得る。膜はすべて、厚さ 260 μm 、電気抵抗率 10 $\Omega\cdot\text{cm}$ の Si(111)基板上に堆積させたものである。チャンバー内は He 置換の大気中とし、転換電子収量 (CEY) 法で試料測定を行った。

4. 実験結果と考察

$\beta\text{-FeSi}_2$ 薄膜及び NC- FeSi_2 薄膜の EXAFS 測定結果を図 1 に示す。試料は He 置換チャンバー内に設置し、CEY 法によって測定を行った。両薄膜試料ともに 7.1 keV 付近に Fe の吸収端が観測されており、また吸収端から高エネルギー側にかけて EXAFS 振動が観測されていることが分かる。EXAFS 領域においては、膜構造 (β - or NC-)の違いでスペクトルが変化している。Fe 原子を取り囲む原子配列が β -と NC- FeSi_2 で若干異なっている可能性が考えられる。

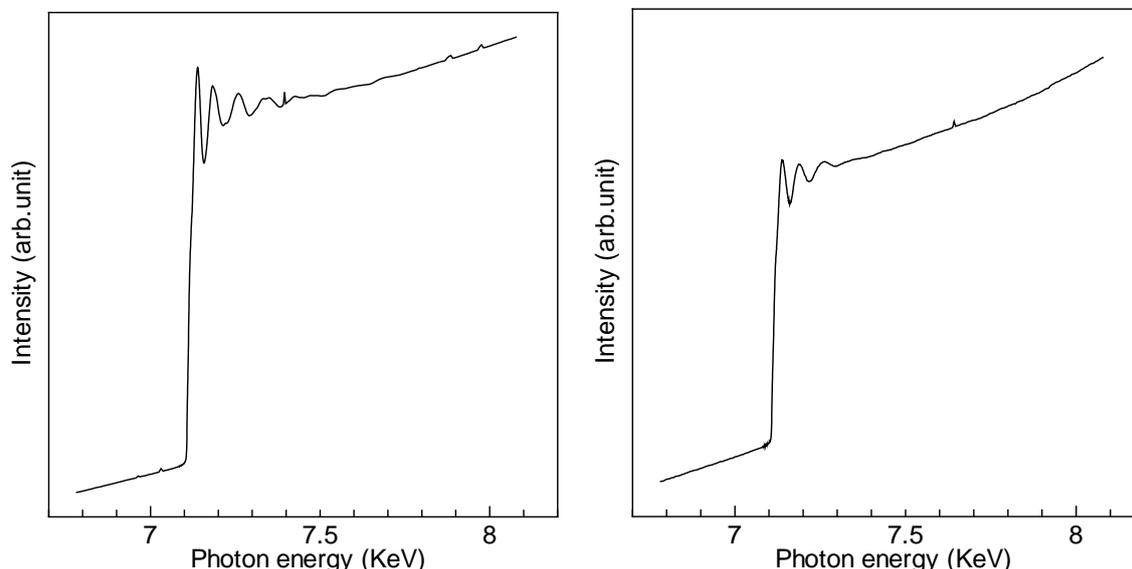


図 1. $\beta\text{-FeSi}_2$ (左図) およびナノ微結晶 FeSi_2 (右図) の EXAFS スペクトル

図 2 に EXAFS 振動抽出スペクトルから動径構造関数の導出を行ったグラフを示す。青線はフーリエ変換後動径構造関数を導出したスペクトルで、赤線は理論値を用いたフィッティング曲線である。最近接原子間距離は β -、NC-ともに約 0.2 nm となっており、これは Fe-Fe の原子間距離に対応しているものと考えられる。また第 2 振動ピーク以上の領域において、両者のスペクトルの違いが大きく現れている。これは構造の違いによって Fe を中心とした原子配列が異なっていることを

意味している。詳細な解析は現在検討中であるが、NC-FeSi₂ は結晶を取り囲むダングリングボンドの構造が大きく影響している可能性が高い。

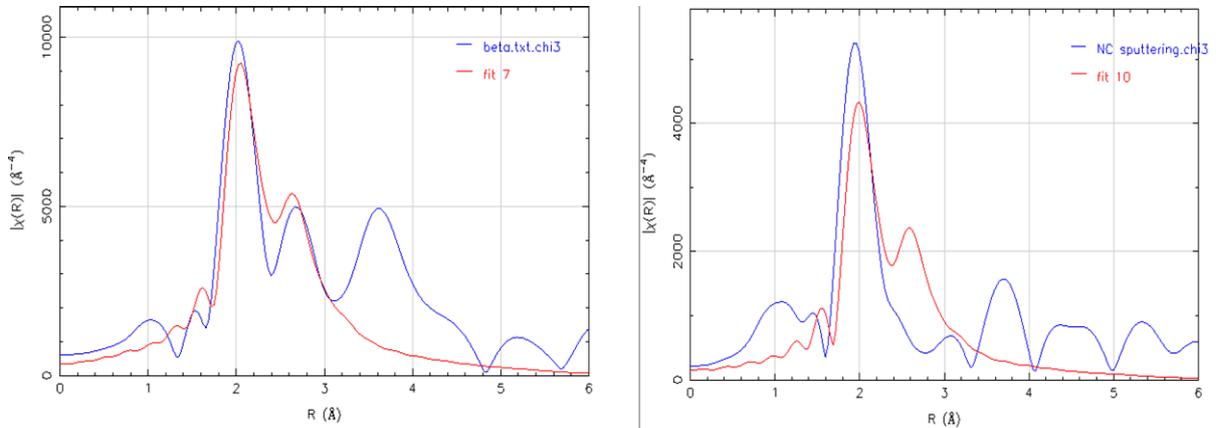


図2. β -FeSi₂ 薄膜の EXAFS 抽出振動スペクトル(左図)およびカーボンドープ NC-FeSi₂ 薄膜の抽出振動スペクトル(右図). 青線が得られたスペクトル, 赤線がフィティング曲線.

5. 今後の課題：

カーボンドープ膜は水素化の影響を強く受ける可能性が高い。光・電子物性との相関を含めて、カーボンドープおよび水素化の効果を複合的に評価していく必要がある。

6. 論文発表状況・特許状況

まだなし。

7. 参考文献

[1] Mahmoud Shaban, Keita Nomoto, Shota Izumi, and Tsuyoshi Yoshitake
"Characterization of near-infrared n-type β -FeSi₂/p-type Si heterojunction photodiodes at room temperature"
Appl. Phys. Lett. Vol. 94 (2009) 222113.

[2] Mahmoud Shaban, Shota Izumi, Keita Nomoto, and Tsuyoshi Yoshitake
n-Type β -FeSi₂/intrinsic-Si/p-type Si heterojunction photodiodes for near-infrared light detection at room temperature
Appl. Phys. Lett. Vol.95 (2009) 162102.

8. キーワード (試料及び実験方法を特定する用語を2~3)

・ β -FeSi₂

高い光吸収係数と、間接バンドギャップ 0.85 eV を有することから近赤外領域で使用するオプトエレクトロニクス材料として注目される材料である。通信用光半導体として用いられる既存のセンサーは、人体に有害であり、レアメタルを中心に構成されているが、鉄シリサイドは豊富な資源 (鉄とシリコン) で構成されており、安価でエコなデバイスが実現可能である。

・ナノ微結晶 FeSi₂

粒径 5 nm 程度のナノ微結晶 FeSi₂ が膜中に無数に分布した構造を持つ半導体材料である。 β -FeSi₂ と同様の物性を有するが、現状ではキャリア濃度が高すぎるためにデバイス応用に歯止めがかかっている。この材料にカーボンを微量に添加することでキャリア濃度が大幅に減少することが実験的に分かっており、今後、新規オプトエレクトロニクスデバイスとして応用されるであろう興味深い材料である。