

## X 線反射率測定による Si ナノ微結晶層の構造解析 Structure Analysis of Si Nano-crystalline Layer by X-Ray Reflectivity Measurement

大森 廣文, 大場 竜二

Hirobumi OHMORI, Ryuji OHBA

(株)東芝 研究開発センター

CORPORATE RESEARCH & DEVELOPMENT CENTER, TOSHIBA CORPORATION

次世代メモリ用二重接合トンネル膜構造における Si ナノ微結晶層の結晶構造を、X 線反射率測定法により解析した。その結果、Si 微結晶層には深さ方向に密度分布の存在すること、及び、微結晶層の密度はバルクのそれよりも小さい可能性のあることが示唆された。

キーワード： Si、二重接合トンネル膜、X 線反射率

### 【背景と研究目的】

フラッシュメモリ素子に要求される大容量化や高性能化を実現するためには、素子の微細化が必須だが、加速し続けるこれらの要求に応えるには、従来の素子構造では限界がある。そこで我々は、この限界を打破する素子構造として、Si ナノ微結晶から成る層と、それを上下に挟む薄いシリコン酸化膜で構成される二重接合トンネル膜構造を提案した[1]。

この膜構造においては、特に Si 微結晶層の構造（面密度や粒径の分布、Si 微結晶間の間隙の状態等）がメモリ素子特性を大きく左右するが、膜厚が薄くラボの X 線装置による評価は困難なことから、SPring-8 放射光を用いた解析を検討している。前回の in-plane X 線回折、及び小角 X 線散乱に引き続き、今回は X 線反射率測定法による解析を行った。

### 【実験】

#### ■試料

Si 基板表面に 1nm の熱酸化膜を形成して、CVD により Si 微結晶層を形成。その上にさらに 1nm の酸化膜を形成した(→図 1)。用いた試料を表 1 に示す。

#### ■実験方法

10keV の X 線を用い、X 線反射率測定を行った。測定的光学系を図 2 に示す。

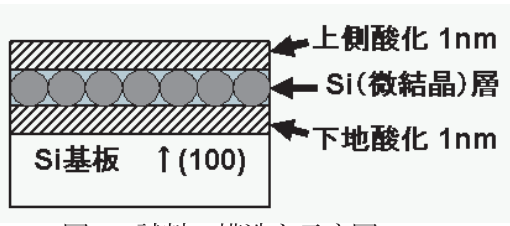


図1. 試料の構造を示す図

表1. 測定に用いた試料

試料名	推定微結晶径	備考
試料A	1nm	TEM で結晶粒の観測困難
試料B	3nm	TEM で結晶粒が観測される

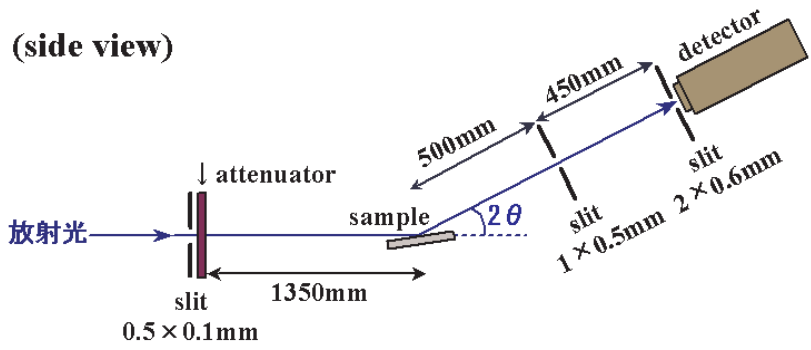


図2. 測定的光学系を示す図

【結果及び考察】

得られた X 線反射率曲線に対して、理論曲線を fitting することにより測定データの解析を行なった。

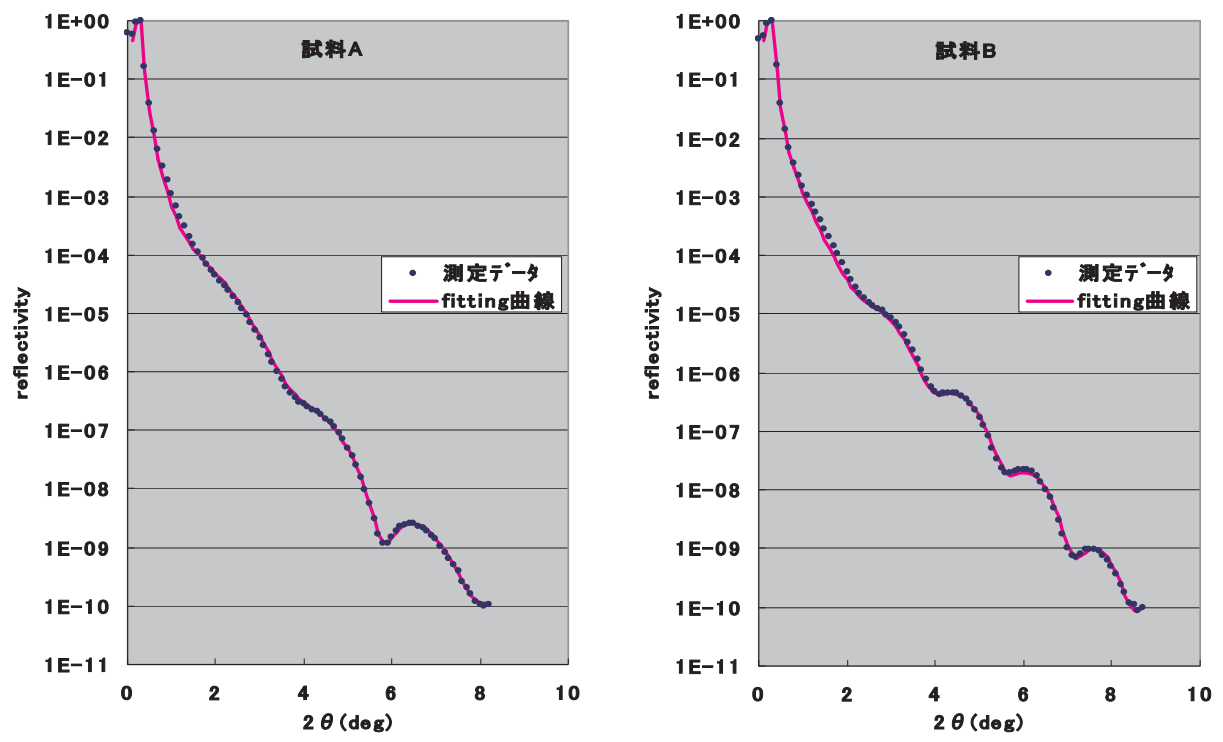


図3. X 線反射率曲線の fitting 結果を示す図

Si 微結晶層を密度の均一な単一層と仮定してのシミュレーションでは、両試料共に測定データと理論曲線との良い一致が得られなかった。そこで、Si 微結晶層の密度が深さ方向に分布を持つと仮定して（Si 微結晶層を3層に分けて）解析を行ったところ、両試料共に測定データとシミュレーション曲線とが比較的良く一致した(図3)。フィッティングにより得られたパラメータを表2、に示す。

表2. フィッティングにより得られたパラメータ（赤字は固定値）

	試料 A	密度[g/cm <sup>3</sup> ]	厚さ[nm]	ラフネス[nm]		試料 B	密度[g/cm <sup>3</sup> ]	厚さ[nm]	ラフネス[nm]
表面 ↑	SiO <sub>2</sub> (酸化膜)	2.20	1.37	0.43	表面 ↑	SiO <sub>2</sub> (酸化膜)	2.31	0.73	0.37
	Si 微結晶層	2.00	0.32	0.20		Si 微結晶層	2.328	0.85	0.19
	Si 微結晶層	2.09	0.22	0.24		Si 微結晶層	2.329	1.07	0.24
	Si 微結晶層	1.96	0.30	0.21		Si 微結晶層	2.40	1.10	0.25
↓ 基板	SiO <sub>2</sub> (酸化膜)	2.09	0.87	0.66	↓ 基板	SiO <sub>2</sub> (酸化膜)	2.22	0.88	0.24
	Si(sub.) <sup>*)</sup>	2.33	-	0.28		Si(sub.)	2.33	-	0.17

表によれば、特に Si 微結晶層の薄い方の試料A(~1nm)において、Si 微結晶層の密度は均一ではなく、深さ方向に密度分布が存在する可能性が考えられる

また同様に、試料A(~1nm)の Si 微結晶層の密度は、バルク Si のそれよりも若干小さいことが示唆された。

#### 【今後の課題】

TEM で結晶粒の観察が困難だった試料の結晶構造のさらなる解析

#### 【参考文献】

[1] R. Ohba et al., IEDM Tech. Dig. p.75 (2007)