

「トリアルユース課題実施報告書」

- ①実施課題番号：2004A0238-NI-np-TU
- ②実施課題名：微小角入射 X 線散乱を用いた低誘電率薄膜の動径分布測定
- ③使用ビームライン：BL46XU
- ④実験責任者所属機関及び氏名：株式会社 富士通研究所 鈴木貴志
- ⑤実験結果報告：

・はじめに

Si LSI の集積度は年々進んでいるが、配線微細化に伴う抵抗・容量増加のため、伝送信号の遅延が重要な懸念となってきた。この遅延を低減するために Cu 配線に低誘電率層間膜を組み合わせた配線構造が大規模に研究、開発されている。一方、これらの低誘電率層間膜は機械的強度が著しく弱く、パッケージングやワイヤーボンディングの際に致命的な問題となる可能性がある。しかし低誘電率膜は Si、O、C、H など軽元素からなる厚さ数 100nm の非晶質薄膜であり、このような材料に適した有力な構造解析手法がないため、低誘電率化と機械的強度の両立が容易ではないのが現状である。そのため低誘電率膜の構造解析手法を開発して、明確な開発指針が得られることが望ましい。そこで本課題では、低誘電率層間膜の物性と骨格構造との相関関係を明らかにするため、微小角入射 X 線法を用いた動径分布測定により非晶質構造解析を試みた。

・測定方法

試料は Si(100)基板上に直接成膜された低誘電率膜で、用いた試料の厚さは約 150nm である。以下の測定において X 線のエネルギーは 12keV に固定して行った。空気の吸収、散乱による減衰及びバックグラウンドの抑制のため、入射光、散乱光の光路には真空パスを入れ、試料周りは He チャンバーで覆った。Si 基板からのバックグラウンドを低減させるため、試料への入射角を小さくした微小角入射 X 線散乱測定法 (Grazing Incidence X-ray Scattering : GIXS) を採用した。受光側にはソーラースリットを用い、2θ 軸を 2°から 150°まで走査して散乱 X 線強度プロファイルを測定した。

・測定結果と考察

低誘電率膜に対して入射角 $\theta=0.135^\circ$ で行った 2θ スキャンプロファイルの代表的な例を図 1 に示す。また同じ膜について 2003B 期に取得した BL19B2 ビームラインでのデータもプロットしてある。散乱プロファイルには、アモルファスの構造を反映した弱い振動成分が観測されている。特に今回は BL46XU の利用によるビーム強度の増大に伴って、より鮮明な振動波形を得ることができた。また同時に大きな散乱角まで測定できるようになったが、 $2\theta > 110^\circ$ の高角度においてはコンプトン散乱効果が顕著で、この領域のデータは解析に用いることができなかった。

非晶質からの散乱強度は、原子形状因子 f 、波数 $q (=4\pi \sin \theta / \lambda)$ 、一つの原子から距離 r だけ離れた位置の単位体積中にある他の原子の数 $\rho(r)$ を用いて以下のように表すことができる [1]。

$$I = Nf^2 \left\{ 1 + \int_0^\infty 4\pi r^2 [\rho(r) - \rho_0] \frac{\sin qr}{qr} dr \right\} \quad (1)$$

ここで ρ_0 は平均原子密度である。(1)式の両辺を Nf^2 で割り、さらに両辺から 1 を引いたものを $I(q)$ とおく。すると、(1)式の Fourier 変換によって原子動径分布の平均原子密度との差分動径分布関数 $H(r)$ を以下のように得ることができる。

$$\begin{aligned}
 H(r) &= 4\pi r^2 (\rho(r) - \rho_0) \\
 &= \frac{2r}{\pi} \int_0^\infty q I(q) \sin(qr) dq
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

図 1 のデータからバックグラウンド成分と原子形状因子を差し引き、 qI (波数×振動) 成分を抽出した結果を図 2 に示す。この図を見るとおよそ 9 \AA^{-1} まで振動成分を確認することができる。

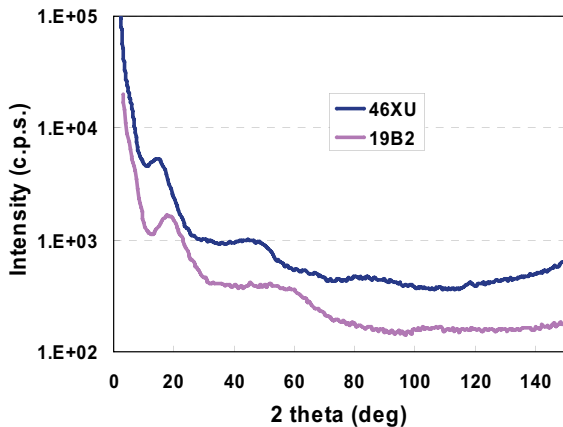


図 1. 2θ スキャンプロファイル

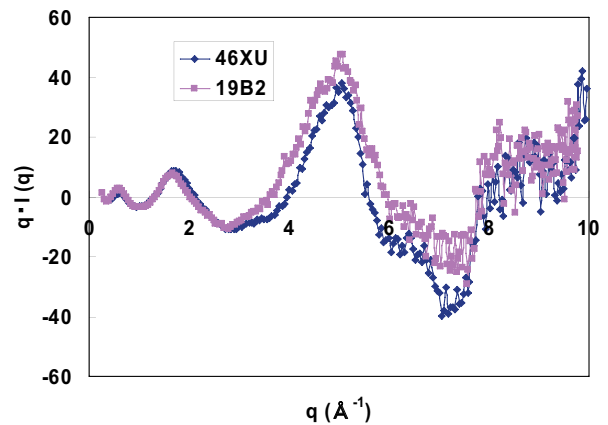


図 2. qI (波数×振動) 成分の抽出

この qI 成分をフーリエ変換し、 $H(r)$ を求めたのが図 3 である。BL19B2 の結果と比較すると、BL46XU の強いビームラインを用いたことにより、振幅の大きなはっきりとした振動が得られていることがわかる。特に 2.5 \AA 付近の振動成分は、BL46XU を用いて初めて明らかになったものである。

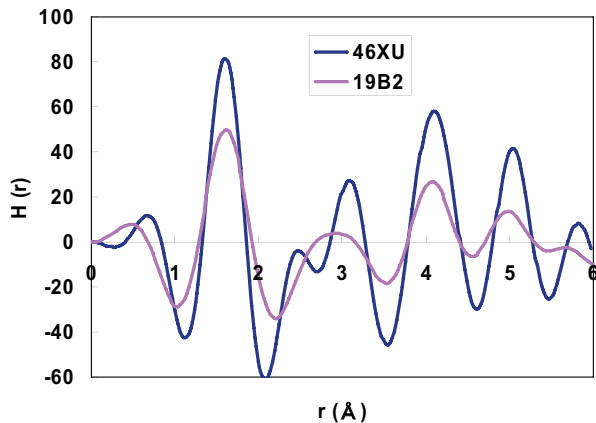


図 3. 差分動径分布関数 $H(r)$

以上のことから、強度の強いビームを用いることで従来よりも精度の高い解析を系統的にできることがわかった。原子間距離が小さい領域において最も強い $r \sim 1.7 \text{ \AA}$ 付近の極大は、Si-O または Si-C による結合を示していると推測している。同様の手法を用いて測定を行った他の膜についても解析中である。以上の結果から、本実験により低誘電率層間膜の局所構造の解明が大いに期待される。

[1] 日本金属学会編 回折結晶学 (丸善)