

## 第2回 SPring-8産業利用報告会

# 放射光利用X線反射率法によるHfSiON膜の構造解析

(株)東芝 研究開発センター LSI基盤技術ラボラトリー  
山崎英之、竹村モモ子、大森廣文、吉木昌彦、富田充裕、竹野史郎

# 背景

デジタル機器製品に対するニーズ

携帯電話・・・低待機電力  
ノートPC・・・低消費電力  
デジタルテレビ・・・大規模デジタル  
信号処理能力



高性能LSIの  
開発

微細化集積回路の開発

従来の材料( $\text{SiO}_2$ )で  
ゲート絶縁膜を薄膜化(数  
nm)

ゲートリーク電流の発生

解決策

高誘電率 (High- $k$ ) ゲート絶縁膜の導入  
HfSiON膜・・・実用化に最も近いゲート絶縁膜

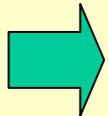
# HfSiONゲート絶縁膜開発とX線反射率解析

## Hfシリケート膜への窒素導入プロセス

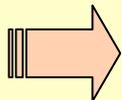
- ✓ 熱窒化法:  $\text{NH}_3$  ガスを含む雰囲気中での高温熱処理による窒化法
- ✓ プラズマ窒化法: プラズマ励起された窒素イオン、窒素ラジカルを用いる窒化法

## HfSiONゲート絶縁膜の開発

熱窒化HfSiON膜とプラズマ窒化HfSiON膜それぞれの膜厚、密度の情報を得ることが必須



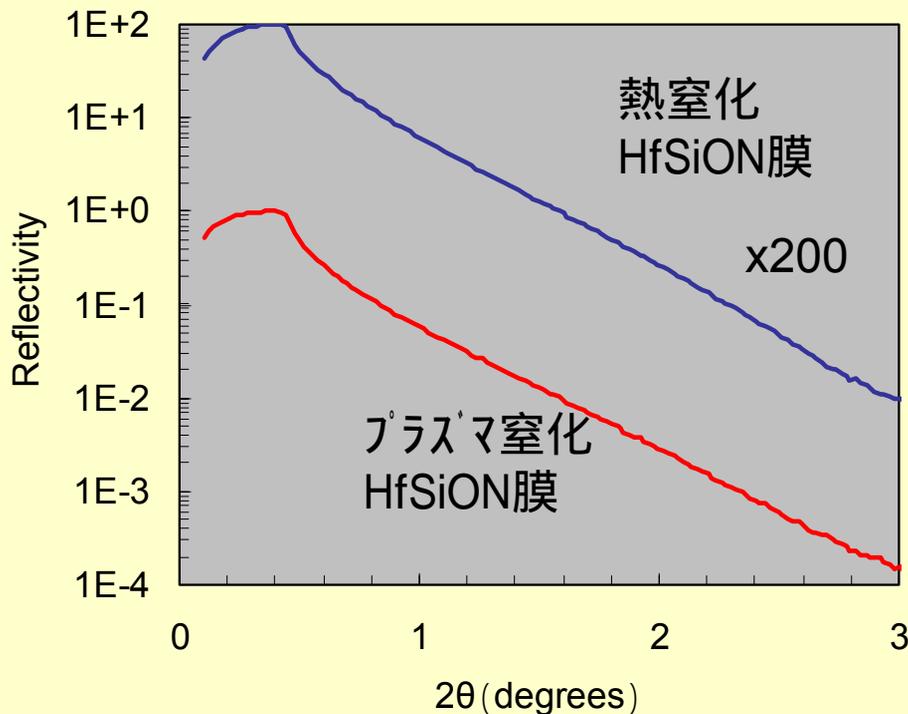
X線反射率法による膜構造の精密評価



従来の測定技術(ラボ装置測定)と解析技術に問題点

# ラボ装置によるX線反射率測定の問題点

熱窒化HfSiON膜 (膜厚3nm) と  
プラズマ窒化HfSiON膜 (膜厚3nm) のX線反射率測定結果



入射X線波長: Cu  $k$  (1.54 )

高角度までの測定が困難

X線干渉パターンに十分な差が  
みられない

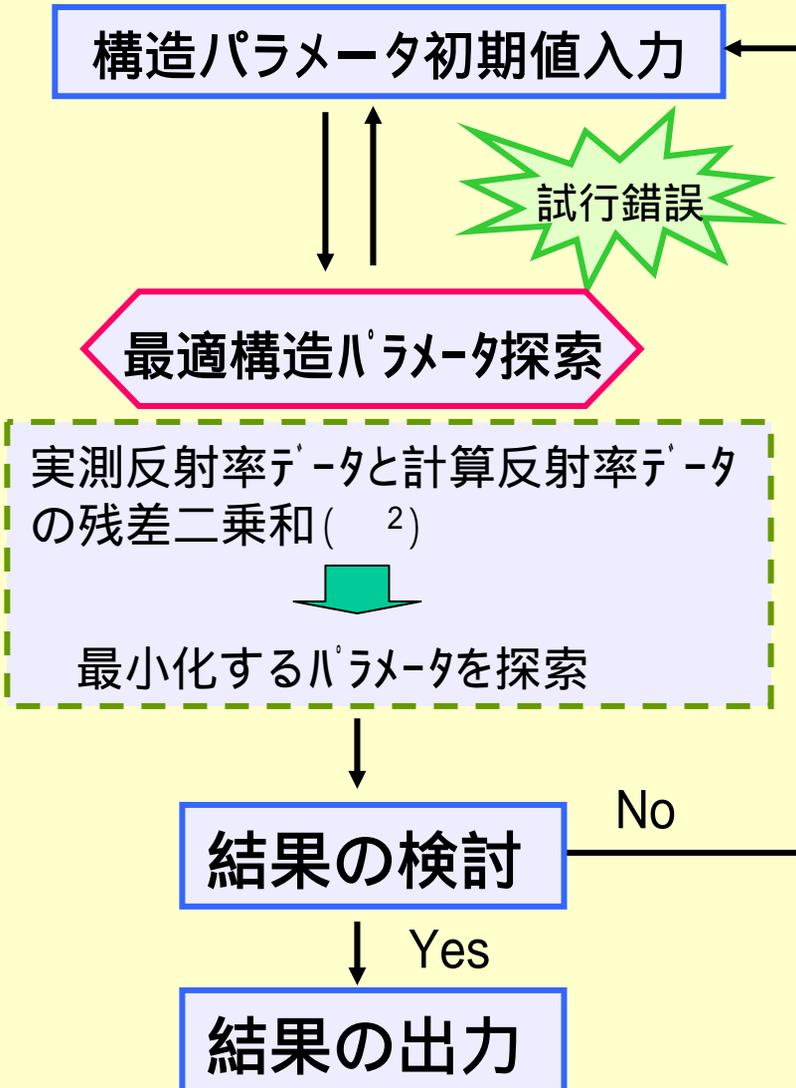
二試料の構造の差異が  
わからない

対策

放射光を用いる  
高角度までのX線反射率測定

# 従来のX線反射率解析の問題点

## 既存ソフトの解析の流れ



✓ 実際の試料構造にかなり近いパラメータ値を入力する必要がある

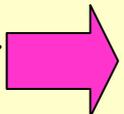
✓  $\chi^2$ の極小値が複数存在する場合 (ローカルミニマム問題)

唯一の解かどうか？

対策

遺伝的アルゴリズムを用いる  
X線反射率解析

# 実験

- ✓ SPring-8利用のX線反射率法
  - ✓ 遺伝的アルゴリズムによる解析
- 
- 熱窒化とプラズマ窒化HfSiON膜構造の差異を明らかにする

■ 試料： HfSiON/Si基板

作製法： MOCVD法によりHfシリケート成膜後、窒素導入  
膜厚： 3 nm

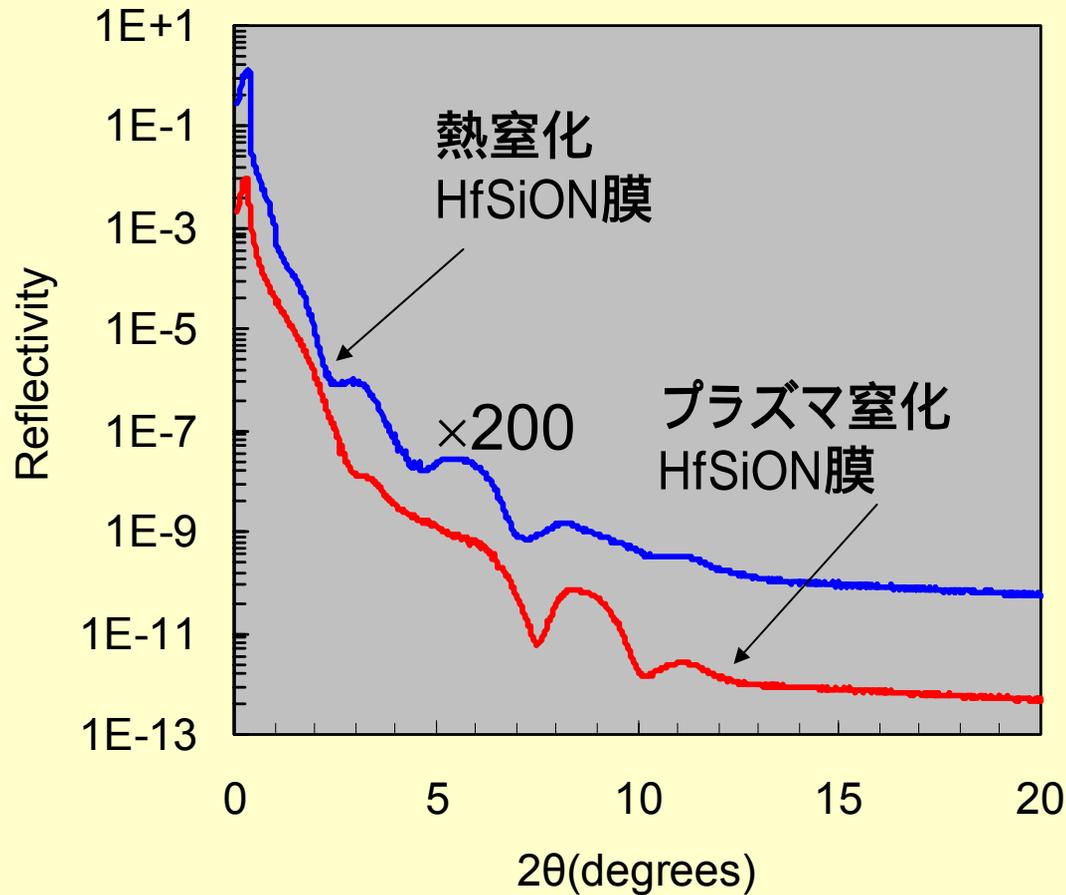
■ X線反射率測定

SPring-8 産業用専用ビームライン BL16XU (アンジュレータ光)  
入射X線波長：1.4

■ シミュレーション解析

遺伝的アルゴリズム利用解析ソフト (PANalytica社製)  
構造パラメータ初期値：成膜時の設計値入力

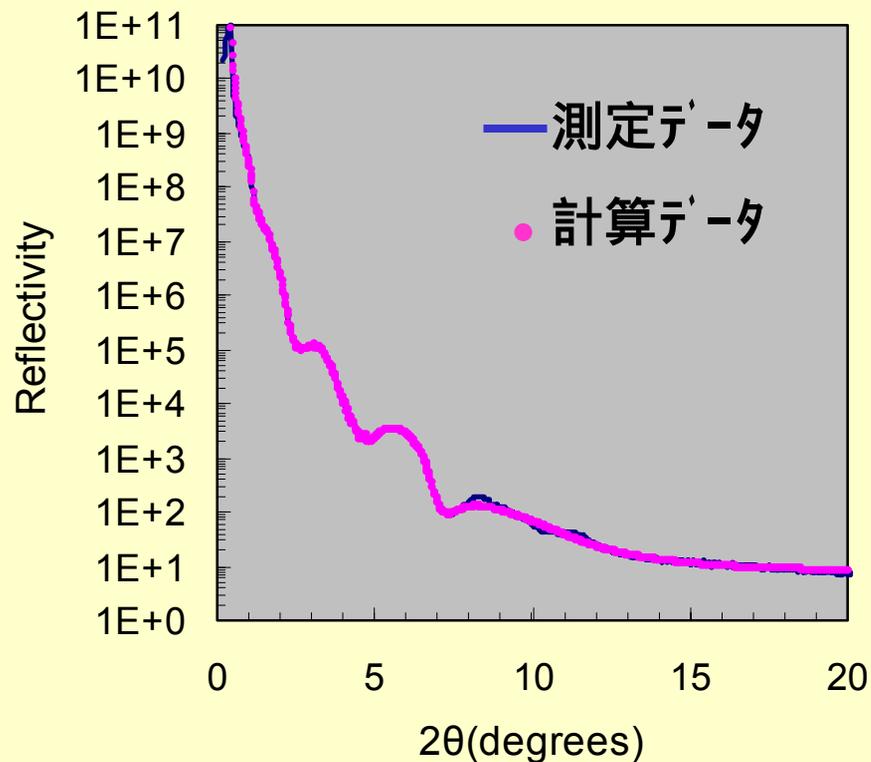
# SPring-8利用のX線反射率測定結果



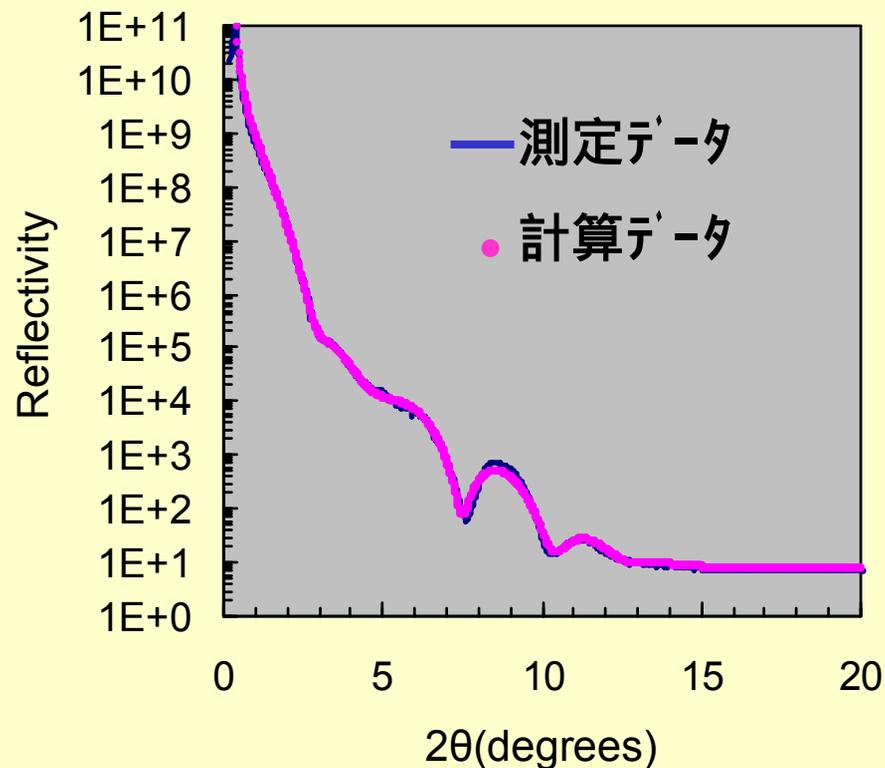
膜構造の差異が  
明確に確認

# 実測反射率データと計算反射率データ

## 熱窒化HfSiON膜



## プラズマHfSiON膜

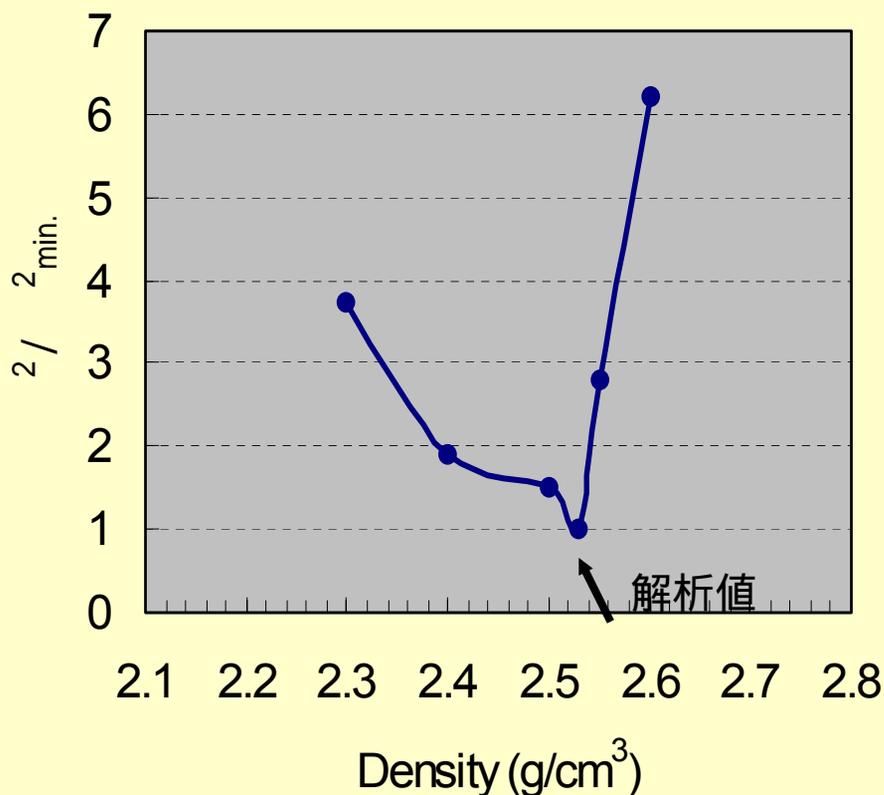


# 界面層密度の解析値周辺の残差二乗和( $\chi^2$ 値)

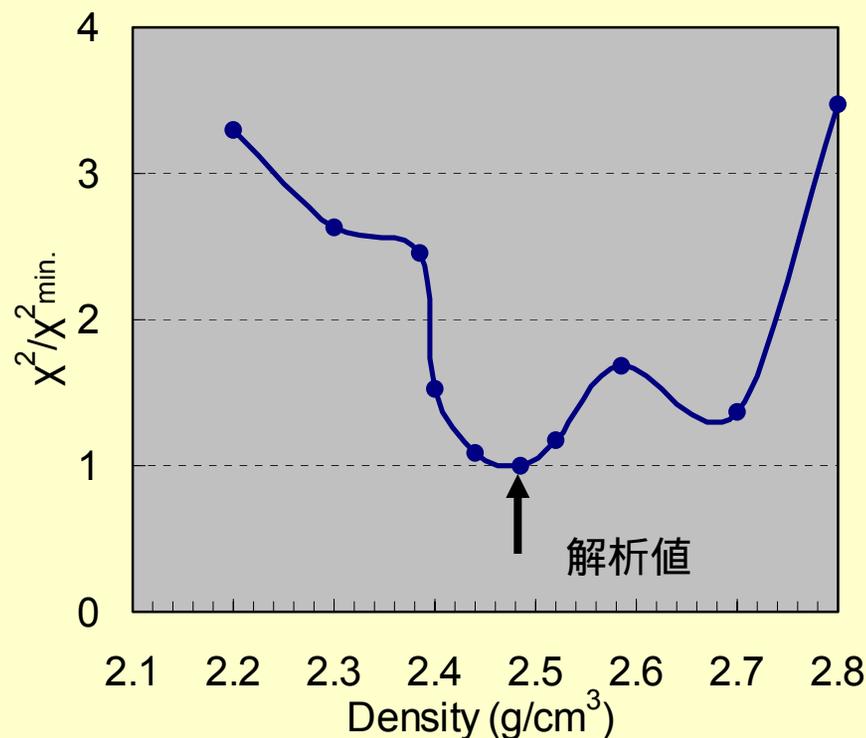
残差二乗  
和:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N (\log I_{\text{cal}} - \log I_{\text{exp}})^2$$

熱空化膜試料



プラズマ窒化膜試料



# まとめ

---

- ✓ SPring-8利用のX線反射率法により、プラズマ窒化HfSiON膜試料と熱窒化HfSiON膜試料のX線干渉パターンの違いが顕著にわかり、窒化方法によって膜構造が明らかに異なっていることが確認できた。
- ✓ 遺伝的アルゴリズムを利用することで実験反射率と計算反射率の残差2乗和( $\sum^2$ )がローカルミニマムに陥る確率は小さくなることがわかった。
- ✓ SPring-8を用いたX線反射率法と遺伝的アルゴリズム利用の解析技術がHfSiON膜の構造解析に有効であることがわかった。