

放射光 X線回折法による Ge 熱酸化膜中の残留秩序構造の研究

Residual Order in Thermal Oxide Layer on Ge Substrate

志村考功*, 細井卓司, 渡部平司

大阪大学大学院工学研究科, 〒565-0871 吹田市山田丘 2-1

Takayoshi Shimura* Takuji Hosoi, and Heiji Watanabe

Graduate School of Engineering, Osaka University, 2-1 Yamadaoka, Suita 565-0871, Japan

1 はじめに

近年、Si-LSI の微細化による性能向上の限界から歪み Si に次ぎ、Ge、GaAs 等の高移動度チャンネルの導入が検討されている[1]。その中でも Ge は電子と正孔で Si より高い移動度を示すことや光電子集積デバイスへの応用も考えられることから特に勢力的に研究開発が行われている。

従来、Ge の熱酸化膜は化学的に不安定で、膜中や界面に多くの電氣的欠陥が存在し、MOS デバイスのゲート絶縁膜には適用が困難であると考えられてきた。ところが最近では複数の研究機関から $10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 位の低い界面準位密度が示され、その良好な電気特性が報告されている[2,3]。しかしながら、その低い界面準位密度の起源やその劣化要因についての理解はほとんど進んでいない。

一方、我々は Si 熱酸化膜が単純なアモルファス構造ではなく秩序性を有していることを指摘し、その酸化機構や劣化過程について示してきた[4,5]。酸化した Si 基板の 111 ブラッグ反射から延びる CTR (Crystal Truncation Rod) 散乱に沿って測定を行うと Si の指数で 1 1 0.45 付近に回折ピークを測定することができる(図 1)。この回折ピークは酸化膜が厚い程強く、また、酸化膜の膜厚の逆数に対応する特徴的な強度変調を有している。これらの結果は Si 酸化膜が単純なアモルファス構造ではなく、Si 基板とエピタキシャルな関係をもつ周期構造を有していることを示している。詳細な検討からこの周期構造は酸化時に Si 基板のダイヤモンド構造の情報を完全に消失してしまうのではなく、基板の情報を引き継いだ構造であることがわかった。この残留秩序構造は疑アモルファス SiO_2 と結晶 Si との急峻な界面と構造の連続性を両立させるものであり、熱酸化 SiO_2/Si 界面の良好な電気特性の要因のひとつであると考えている。

そこで本研究では Ge の熱酸化膜中の秩序構造の有無を調べ、また、その変化を測定することにより酸化及び劣化過程の検討を行った。酸化膜中の秩序構造は酸化界面での原子レベルでの反応過程を直接反映したものであり、その酸化機構に関する多くの知見が得られるものと考えられる。

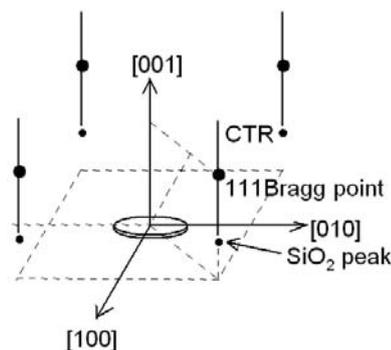


図 1 : $\text{SiO}_2/\text{Si}(001)$ 試料の 111 ブラッグ反射周辺の逆格子の模式図。

2 実験

試料の前処理として、 550°C 、2 時間の犠牲酸化と超純水による酸化膜のエッチングを行った。熱酸化は、Dry O_2 雰囲気中、 $450\text{--}550^\circ\text{C}$ 、2~8 時間の範囲で行った。一部の試料は酸化後、Ar 雰囲気中で $450\text{--}550^\circ\text{C}$ の範囲で 1 時間の熱処理を行った。また、大気暴露の影響を減らすため、酸化または熱処理直後にその表面に $35\text{--}60 \text{ nm}$ 厚の Al を真空蒸着した。酸化膜厚は断面 TEM により算出した。放射光 X 線回折実験はつくばの Photon Factory の BL4C で結晶分光型 4 軸回折計を用いて行った。Ge(001) 基板の 111 ブラッグ反射から延びる CTR 散乱に沿って測定を行うことにより、酸化膜中の残留秩序構造からの回折ピークの有無を調べた。また、その回折ピークの強度分布測定から酸化膜の構造変化を調べた。

3 結果および考察

図 2 (a) に 450°C で 2 及び 8 時間酸化した試料の結果を示す。基板の 111 ブラッグ反射から延びる CTR 散乱の強度分布を示している。L=0.7 近傍で酸化前と比較して酸化時間が増加すると共にその強度が増加していることがわかる。また、図 2(b) は CTR 散乱に垂直方向の強度分布を示している。L=0.7~0.9 の範囲でその半値幅は、 0.0026° 程度でほぼ一定となっている。これらの結果は Si 酸化膜中の残留秩序構造と同様の特徴であり、Ge 酸化膜中にも残留秩序構造が存在していることを示していると考えられる。

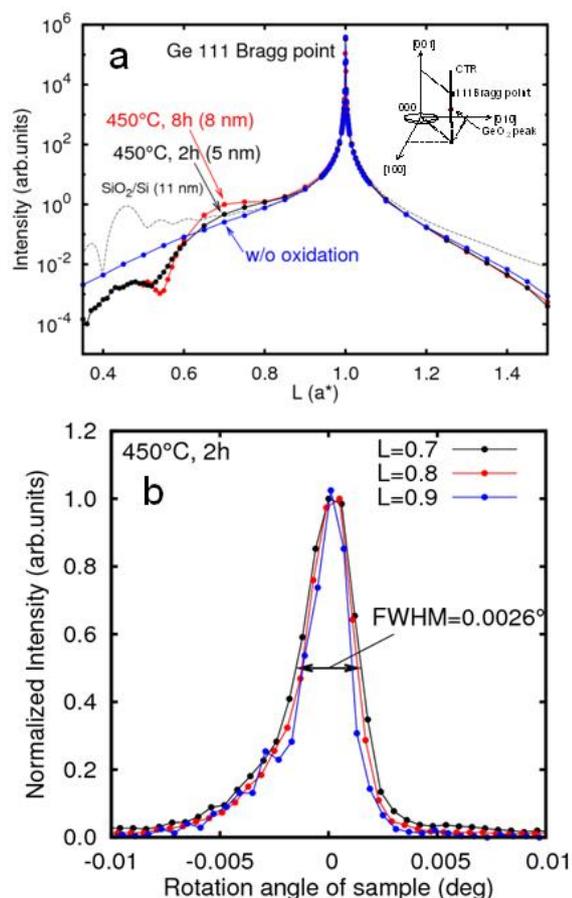


図2：(a) 酸化温度 450°C で酸化時間を 0~8 時間変化させた試料の 111 ブラッグ反射周辺の CTR 散乱の強度分布。(b) 450°C で 2 時間酸化した試料の CTR 散乱の断面方向の強度分布。

4 まとめ

放射光 X 線回折実験により Ge 熱酸化膜中の残留秩序構造の有無を調べた。 450°C で酸化した試料の 111 ブラッグ反射から延びる CTR 散乱の低角側の $L=0.7$ 付近に回折ピークを確認した。酸化時間を長くすることにより強度が増加し、その半値幅が CTR 散乱と同程度であることから Ge 酸化膜中にも残留秩序が存在していることがわかった。

参考文献

- [1] S. Takagi *et al.*, IEEE Trans. Electron. Devices **55**, 21 (2008).
- [2] H. Matsubara *et al.*, Appl. Phys. Lett. **93**, 032104 (2008).
- [3] C. H. Lee *et al.*, IEEE Electron Device Lett. **58**, 1295 (2011).
- [4] K. Tatsumura *et al.*, Phys. Rev. B **69**, 85212 (2004).
- [5] T. Shimura *et al.*, J. Electrochem. Soc. **157**, H977 (2010).