

## ゲルマニウム熱酸化膜中の残留秩序構造 Residual Order in the Thermally Oxidized Thin Film on Ge Substrates

志村考功\*, 下川大輔, 松宮拓也, 細井卓治, 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

### 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  $1 \pm 0.45$  付近に回折ピークを測定することができる。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  $\text{SiO}_2$  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  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  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。

### 2 実験

熱酸化は、Dry  $\text{O}_2$  雰囲気中、 $450^\circ\text{C}$ 、2-8 時間の範囲で行った。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

Fig. 1 に  $450^\circ\text{C}$  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。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。

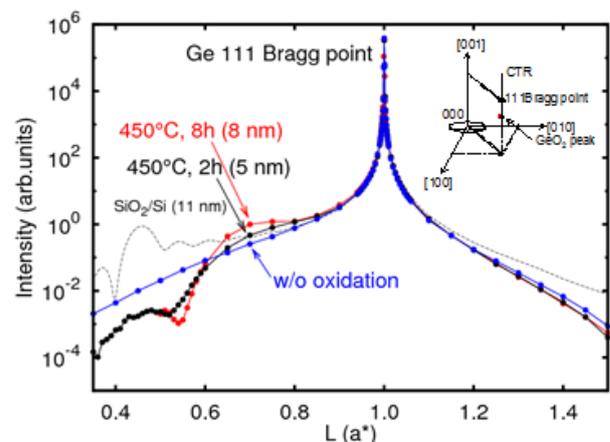


図 1 : 各種試料の 111 ブラッグ反射から延びる CTR 散乱の強度分布。

### 参考文献

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

\* shimura@mls.eng.osaka-u.ac.jp