

マイクロ X 線回折による SiGe 酸化濃縮時の
局所構造緩和過程のその場観察
**In-situ Observation of Local Strain Relaxation Process during Ge
Condensation Process of SiGe Layers by Micro X-ray Diffraction**

志村 考功^a、井上 智之^a、下川 大輔^a、坂田 修身^b、木村 滋^b

Takayoshi Shimura^a, Tomoyuki Inoue^a, Daisuke Shimokawa^a, Osami Sakata^b, and Shigeru Kimura^b

^a大阪大学、^b高輝度光科学研究センター

^aOsaka University, ^bJASRI

Silicon-on-insulator 構造上にエピタキシャル成長させた SiGe 層の酸化濃縮時の局所構造緩和過程の放射光マイクロ X 線回折によるその場観察を試みた。室温から 1000°C まで昇温過程における SiGe 層と Si 層の間の相互拡散、酸化界面での Ge 濃縮、歪み緩和に起因すると思われる変化を測定した。

In-situ observation of local strain relaxation process during Ge condensation process of SiGe layers epitaxially grown on silicon-on-insulator structure was carried out by synchrotron micro x-ray diffraction. The change of intensity profiles was observed during the elevated temperature process from RT to 1000°C, which would originate from the interdiffusion between SiGe and Si layers, Ge condensation below the oxidized interface, and the lattice relaxation.

キーワード：マイクロ X 線回折、酸化濃縮法、その場観察、歪み緩和、SiGe on insulator

背景と研究目的： 近年、緩和した SiGe 層上に歪んだ Si 層を形成し、MOSFET のチャンネルとして用いることにより移動度の向上を図る手法が盛んに検討されている。酸化濃縮法は、緩和した SiGe 層を作製する手法のひとつとして注目されている技術である。この方法は、SiGe の酸化において Si 原子が選択的に酸化され、Ge 原子が酸化膜中に取り込まれることなく酸化界面から SiGe 側へ放出される現象を利用している。Si/SiO₂/Si 構造を持つ基板上に Ge 濃度で SiGe 層を成膜し、それを酸化することにより、酸化界面から放出された Ge 原子は SiGe 層、Top Si 層へと拡散する。その結果、埋め込み SiO₂ 層と表面酸化膜との間の領域の Ge 濃度が酸化の進行と共に増加する。初期の SiGe 層の Ge 濃度を十分低くすれば SiGe 層の Si 上への成長時の転位の発生を抑制できることや酸化濃縮時における埋め込み SiO₂ 層との界面におけるすべりの発生ため、格子緩和した Ge 濃度が高く転位密度

が低い薄い SiGe 層の形成が可能であると考えられている¹⁾。さらに酸化濃縮を進めるとほぼ 100%の Ge 層を形成することも可能であり、Si よりもキャリアの移動度が 5 倍以上高い Ge チャンネルの高速デバイスへの応用も期待されている²⁾。

ところが、SiGe の酸化については 20 年以上昔から調べられているが依然として不明な点が多い。特に酸化濃縮時の歪み緩和過程については転位の発生や歪み Si 層の歪み制御と直接関係するため、詳細な理解が必要となっている。

本研究の目的は SiGe/SiO₂/Si 構造を持つ基板の作製法である酸化濃縮法における濃縮時の局所構造緩和過程のその場観察を行うことである。これまでの研究でウェーハメーカー等から提供された酸化濃縮法で作製した SiGe 層には数 μm 以下のサイズで格子面傾斜分布を持つドメインが存在することが明らかになった³⁾。また、1000°C での酸化濃縮初

期過程を測定した結果、すでに酸化1時間後には同様の格子面傾斜分布が存在することがわかった⁴⁾。さらに酸化温度を950, 850°Cと下げた場合や酸化前にSiO₂層を積層した場合も検討した結果、酸化温度の効果よりもGeの濃縮に伴う歪みのエネルギーの増大による緩和が重要であることがわかってきた。また、酸化初期に発生した格子面傾斜ゆらぎはGe濃度が90%程度まで若干の変動はあるものの大きな変化がないこともわかった。本研究では、これらの格子面傾斜ゆらぎの発生の様子を酸化濃縮時のその場マイクロX線回折法により観測することを試みた。

実験： 実験はBL13XUで行った。Si(111)の2結晶分光器により10keVのX線を選択し、複合屈折レンズにより2次元の集光を行った。フレネルゾーンプレートを用いる集光と比べ、20cmという比較的長いワーキングディスタンスを確保することができる。ナイフエッジスキャンによって求めたビームサイズは半値幅で1.6 (horizontal)×1.3 (vertical) μm²であった。

酸化濃縮その場観察に用いたチャンバーを図1に示す。X線用の窓材にはカプトンフィルムを使用し、散乱角が-10~110°までの赤道線上の反射を測定できる。チャンバーは窓材等の保護のために水冷できる構造になっている。試料はチャンバー外の可動機構からω回転を含む回転、並進運動ができる。酸素は大気圧でフローし、試料温度は石英窓から赤外放射温度計によりモニターした。

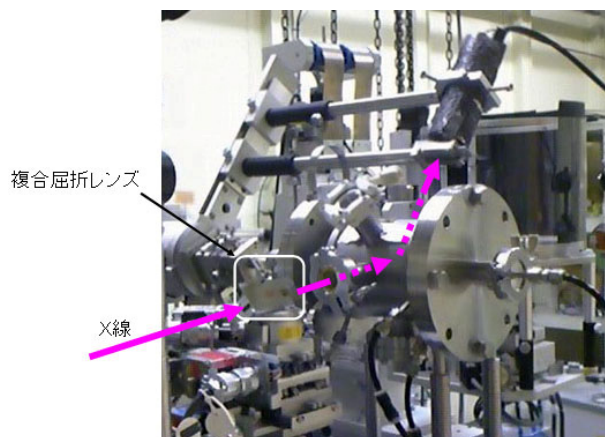


Fig. 1 Photograph of the experimental set up.

結果、および、考察： 図1に酸化の初期過程における昇温時の004ブラッグ反射の2θ-θスキャンの変化の様子を示している。700°Cまではas-grownの状態とほとんど変化はないが800°C以上で急激に変化している様子がわかる。SiGe層のGe濃度がSiとの相互拡散により現象しつつ、900°Cでは酸化界面でのGeの濃縮によりGe濃度の高い層からの散乱が観測されている。1000°Cでは相互拡散がいっそう促進されSiGe層とSi層が混ざり均一化が進行している。

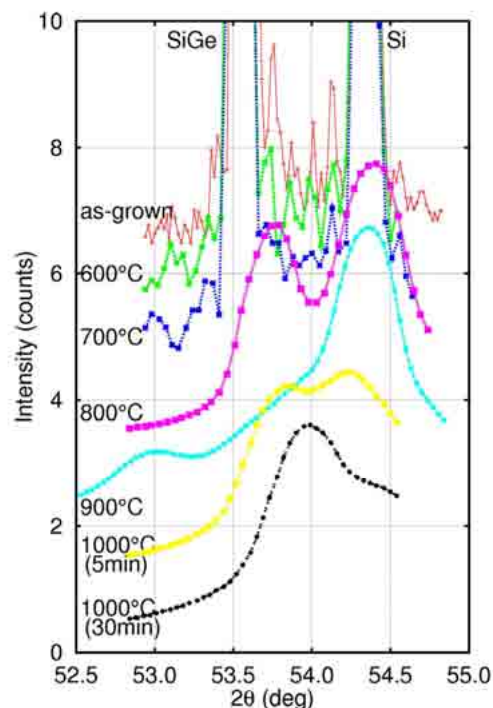


Fig. 2 Intensity distributions of 2θ-θ scan for the oxidized samples.

参考文献

- 1) T. Tezuka, N. Sugiyama, T. Mizuno, M. Suzuki, and S. Takagi, *Jpn. J. Appl. Phys.* **40** (2001) 2866.
- 2) S. Nakaharai, T. Tezuka, N. Sugiyama, Y. Moriyama, and S. Takagi, *Appl. Phys. Lett.* **83** (2003) 3516.
- 3) T. Shimura et al, *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* **19** (2008) 189.
- 4) T. Inoue, D. Shimokawa, T. Hosoi, T. Shimura, Y. Imai, O. Sakata, S. Kimura, and H. Watanabe, Extended abstract of the 2008 International Conference on Solid State Device and Materials, Tsukuba, 2008, p.374.