

## SiGe 酸化濃縮時の局所歪み緩和過程のマイクロ X 線回折による解析 Characterization of Strain Relaxation Process during Ge Condensation by Synchrotron Microbeam X-ray Diffraction

志村 考功<sup>a</sup>, 井上 智之<sup>a</sup>, 下川 大輔<sup>a</sup>, 今井 康彦<sup>b</sup>, 坂田 修身<sup>b</sup>, 木村 滋<sup>b</sup>  
Takayoshi Shimura<sup>a</sup>, Tomoyuki Inoue<sup>a</sup>, Daisuke Shimokawa<sup>a</sup>,  
Yasuhiko Imai<sup>b</sup>, Osami Sakata<sup>b</sup>, and Shigeru Kimura<sup>b</sup>

<sup>a</sup>大阪大学, <sup>b</sup>高輝度光科学研究センター  
<sup>a</sup>Osaka University, <sup>b</sup>JASRI

酸化濃縮時の歪み緩和過程を放射光マイクロビーム X 線回折により調べた。1 時間の酸化濃縮においてすでに SiGe 層、SOI 層の局所ロッキングカーブのピーク位置、半値幅が測定位置ごとにゆらいでおり、結晶性が劣化していることがわかった。5 時間酸化後の Ge 組成が 100% の試料についてはその揺らぎがさらに大きくなっていることを確認した。

Strain relaxation process during Ge condensation was investigated by synchrotron microbeam X-ray diffraction. The center position and FWHM of the rocking curve from local area change significantly depending on the measurement position of the SiGe layer as well as the SOI layer even for the sample oxidized for 1 hour, indicating the degradation of the crystalline quality of the sample. The variation of the rocking curves of the Ge layer of the sample oxidized for 5 hours is much larger than that of the sample oxidized for 1 hour.

キーワード：酸化濃縮法、マイクロビーム X 線回折、Ge on Insulator、格子歪み

**背景と研究目的：** シリコン MOSFET (metal oxide semiconductor field effect transistor) は微細化することによってその性能向上を成し遂げてきた。しかし、微細化の限界が近づいており微細化に頼らない技術が求められている。チャネルに歪み Si や Ge を用いることにより MOSFET のキャリア移動度を向上できることから、これらの技術開発が勢力的に行われている<sup>1)</sup>。

酸化濃縮法は、これらの歪み Si や Ge チャネルデバイスを実現する SGOI (SGe-on-insulator) や GOI (Ge-on-insulator) 構造を持つ基板の作製技術として期待されている<sup>2,3)</sup>。酸化濃縮法は、初期の SiGe 成長において Ge 濃度を低減できることや、歪み緩和時の SiGe/SiO<sub>2</sub> 界面でのすべりを利用できることから高い Ge 濃度で低い転位密度の SiGe 層が形成できると考えられている<sup>4)</sup>。しかしながら、現状では十分な結晶性を持つ SiGe 層は形成されていない。

本研究では、酸化濃縮時の歪み緩和過程を詳細に検討し、SiGe 層の結晶性を改善するため、放射光マイクロビーム X 線回折による評価を行った。マイクロビームを用いることにより微細領域での歪み緩和過程の知見を得ることができる。

**実験：** 市販の SOI (silicon on insulator) 基板上に 20% の Ge 組成の SiGe 層を 65nm 成長させたものを初期基板として用いた。酸化濃縮は乾燥酸素雰囲気中で行い、1050°C で酸化を始め、4 時間酸化後に 900°C に温度を下げ、1 時間酸化を行った。

SiGe 層の Ge 組成と歪み緩和率は実験室系の X 線回折装置による逆格子マップ測定により見積もった。放射光マイクロビーム X 線回

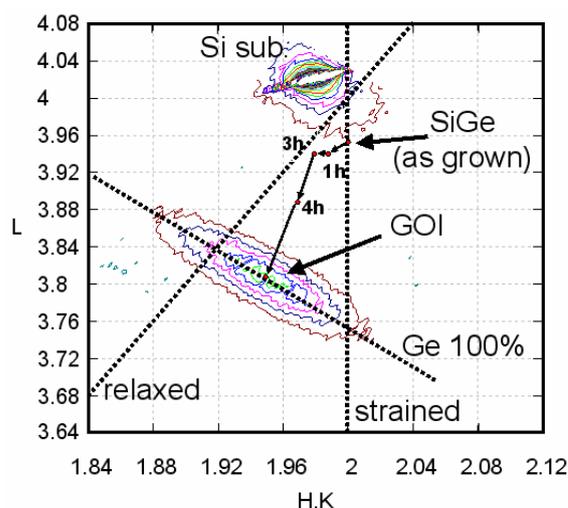


Fig. 1. Reciprocal space map around the 224 Bragg reflections of the GOI sample. The lines denoted by “relaxed”, “strained”, and “Ge 100%” show the expected peak positions of the fully relaxed, completely strained SiGe layers and a Ge layer, respectively.

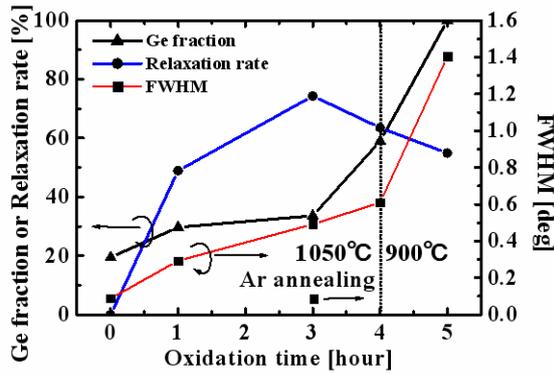


Fig. 2. Ge fraction, lattice relaxation rate and the FWHM of the SiGe layer during the Ge condensation. The FWHM was obtained by synchrotron microbeam X-ray diffraction.

折実験はSPring-8のBL13XUで行った。フレネルゾーンプレートを用いて試料位置で $0.7 \times 1.1 \mu\text{m}^2$ の大きさに集光したX線を用いた<sup>5)</sup>。

**結果、および、考察：** 図1に5時間酸化した試料の224ブラッグ反射周辺の逆格子マップをSiGe層の回折ピークの中心位置の酸化濃縮時の軌跡と共に示す。酸化濃縮が進むにつれてGe組成が増加し、5時間後には残留格子歪みが存在しているもののGe組成が100%に達していることを示している。

逆格子マップ測定から見積もられたGe組成と格子歪み緩和率を図2に示す。酸化時間と共にGe組成が増加している一方、歪み緩和率が3時間後に減少している。これは、3時間後からGe組成が急激に増加し、格子緩和が追従できなかったためと思われる。

酸化濃縮中のこれらの試料について、放射光マイクロビームX線回折により004反射のロックンクカーブの試料上の測定位置の依存性の測定を行った。図3は1時間酸化後の結果を示している。ピークの中心位置やその半値幅が測定位置ごとに大きく変化しているこ

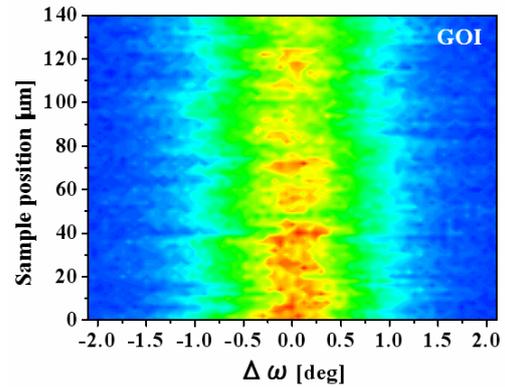


Fig. 4. The variations of the rocking curve of the 004 Bragg reflection of the Ge layer depending on the measurement position for the GOI sample.

とがわかる。また、SiGe層だけでなく、SOI層やSi基板のロックンクカーブも揺らいでおり、1時間の酸化にも関わらず、濃縮によって生じた歪みがSOI層、埋め込み酸化膜を通して基板まで伝播し格子を歪ませていることを示している。

図4は5時間酸化後のGe組成が100%の試料の結果を示している。ピーク位置の揺らぎ、半値幅共にさらに大きく揺らいでいることがわかる。

#### 参考文献

- 1) M. L. Lee, E. A. Fitzgerald, M. T. Bulsara, M. T. Currie, and A. Lochtefeld, *J. Appl. Phys.* **97** (2005) 011101.
- 2) T. Mizuno, S. Takagi, N. Sugiyama, H. Satake, A. Kurobe, and A. Toriumi, *IEEE Electron Device Lett.* **21** (2000) 230.
- 3) S. Nakaharai, T. Tezuka, N. Sugiyama, Y. Moriyama, and S. Takagi, *Appl. Phys. Lett.* **83** (2003) 3516.
- 4) T. Tezuka, N. Sugiyama, T. Mizuno, M. Suzuki, and S. Takagi, *Jpn. J. Appl. Phys.* **40** (2001) 2866.
- 5) S. Takeda, S. Kimura, O. Sakata, and A. Sakai, *Jpn. J. Appl. Phys.* **45** (2006) L1054.

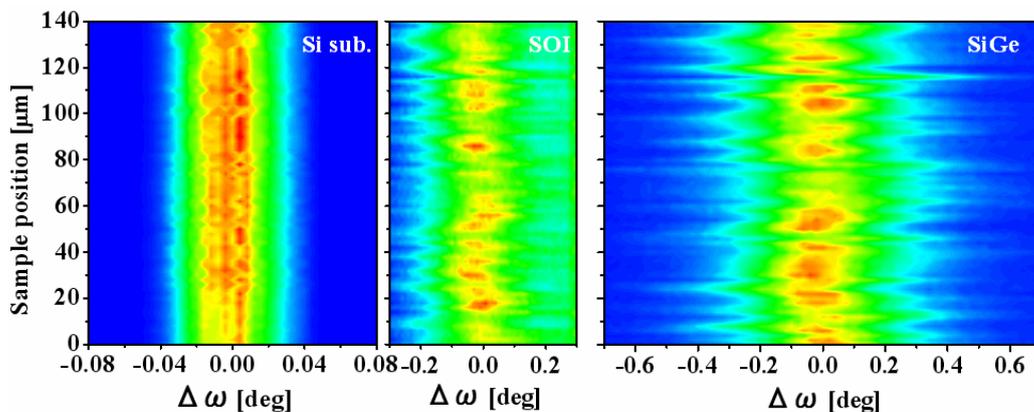


Fig. 3. The variations of the rocking curve of the 004 Bragg reflection depending on the measurement position for the sample oxidized for 1 hour.