

## 微細加工された SiGe および Ge 細線構造における局所歪揺らぎの検出 Detection of Local Strain Distribution in Micro-Fabricated SiGe and Ge Fine Stripe Lines

中塚 理<sup>a</sup>、酒井 朗<sup>a</sup>、湯川勝規<sup>a</sup>、望月省吾<sup>a</sup>、  
福田一徳<sup>b</sup>、木村 滋<sup>b,c</sup>、坂田修身<sup>b</sup>、小川正毅<sup>a</sup>、財満鎮明<sup>a</sup>  
O. Nakatsuka<sup>a</sup>, A. Sakai<sup>a</sup>, K. Yukawa<sup>a</sup>, S. Mochizuki<sup>a</sup>,  
K. Fukuda<sup>b</sup>, S. Kimura<sup>b,c</sup>, O. Sakata<sup>b</sup>, M. Ogawa<sup>a</sup>, and S. Zaima<sup>a</sup>,

<sup>a</sup>名古屋大学、<sup>b</sup>高輝度光科学研究センター、<sup>c</sup>CREST-JST  
<sup>a</sup>Nagoya University, <sup>b</sup>JASRI, <sup>c</sup>CREST-JST

Si(001) 基板上にヘテロエピタキシャル成長させ、微細加工を施した Si<sub>0.7</sub>Ge<sub>0.3</sub> および Ge 細線における局所的歪構造を、マイクロビーム X 線回折法により評価した。Si<sub>0.7</sub>Ge<sub>0.3</sub> 細線に特徴的な弾性的歪緩和を高分解能で観察できた。一方、Ge 細線では弾性的歪緩和はほとんど生じないこともわかった。

The local strain distribution in micro-fabricated Si<sub>0.7</sub>Ge<sub>0.3</sub> and Ge stripe lines, which were epitaxially grown on Si(001), was investigated by using the micro-beam X-ray diffraction. The elastic strain relaxation in SiGe stripe lines can be detected with the high resolution. On the other hand, the elastic strain relaxation hardly occurs in Ge stripe lines.

### 背景および研究目的

Si 系超大規模集積回路 (ULSI) の更なる性能向上に向けて、その基本素子である金属 - 酸化物 - 半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) のチャネル領域に、より高移動度を有する歪 Si や Ge を導入する研究が活発に進められている。その際、MOSFET の微細化に伴い、微細加工された素子内部の個々の構造に対して、均一で精密な歪および転位構造を制御する技術が必要となる。近年では、加工形状の異方性を用いて、局所的な歪を制御する技術にも注目が集まっており、微細領域の歪の高速かつ高精度な計測技術が極めて

重要となっている。放射光を光源とする高輝度 X 線マイクロビームを用いた X 線回折法により、薄膜中の局所的な歪を高精度に検出することができる [1]。今回、我々は X 線マイクロ回折によって、メサ構造に微細加工された SiGe/Si ヘテロ構造の局所歪を評価した。

### 実験

Si(001) 基板上にエピタキシャル成長した Si<sub>0.7</sub>Ge<sub>0.3</sub> 層および Ge 層を、電子線リソグラフィおよび反応性イオンエッチングにより、線幅 250 nm および 1000nm の <110> 方向に沿うストライプ細線状のメサ構造にパターン加

工した [2]。BL13XU において、ゾーンプレートにより形成したビーム径  $0.70 \times 2.45 \mu\text{m}^2$  の X 線マイクロビームを用いて、試料の二次元逆格子空間マップおよび  $\omega$  ロッキングカーブの空間位置依存性の二次元マップを測定した。

### 結果および考察

加工前の  $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  薄膜および 250nm 幅に加工した  $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  細線構造試料の  $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}(004)$  逆格子点近傍における二次元逆格子マップ測定結果を、それぞれ Fig. 1(a) および 1(b) に示す。X 線は細線長軸方向に垂直に入射している。微細加工前の試料においては、 $\omega$  方向の広がり小さいパターンであるのに対して、微細加工後の試料においては、矢印で示した

ような  $\omega$  方向にブロードな回折強度を持つパターンが観測された。この時、パターンは少し上方に歪んだような三角形状を取る特徴的なものとなった。これは、パターン加工によって、 $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  細線のエッジ付近における誘起された弾性的歪緩和を反映したものと考えられる。Baumbach らは InP 基板上でメサ形状に加工した GaInAs/InP 超格子の細線構造において、エッジ近傍の弾性的な歪緩和に応じて、同様の回折パターンが生じることを報告している [3]。

一方、Ge 細線においては、このような歪緩和構造は見られなかった。この結果は、Ge 細線の場合、刃状転位が均一に導入されて、ほぼ完全な歪緩和が生じ、弾性的歪緩和がほとんど生じていないことを反映している。

さらに、測定領域を実空間でスキャンすることで、 $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  細線構造において、250nm 幅の細線構造に起因するロッキングカーブプロファイルの変化も観察できた。これは微細構造の局所的歪み分布を高空間分解能で評価できることを示しており、極微細電子デバイスにおける微細な歪構造の直接的評価に向けて、今回のマイクロビーム XRD 法が有用であることを確認できた。

### 今後の課題

微細加工された SiGe 細線内部の歪み分布に関して数値計算を行い、これを実際の回折パターンと比較することで、弾性的および塑性的歪緩和の局所的な構造をより詳細に分析できると考えられる。

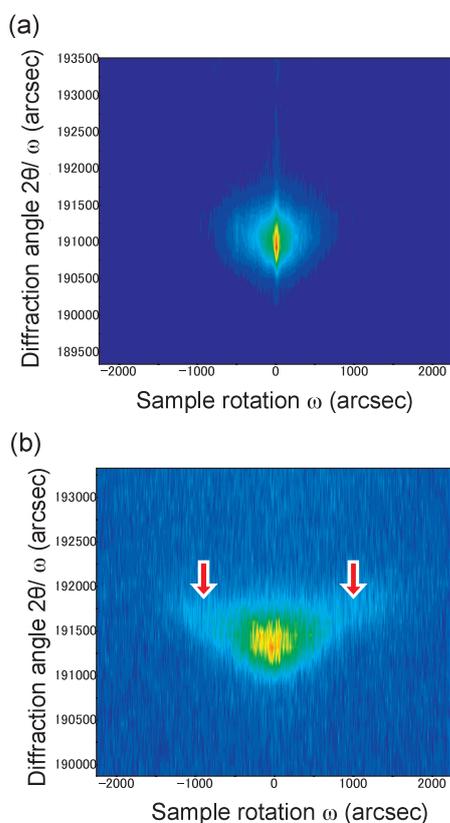


Fig. 1 XRD 2D reciprocal space maps of  $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  (004) lattice planes for (a) the  $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  layer after the growth and (b) the micro-fabricated  $\text{Si}_{0.7}\text{Ge}_{0.3}$  fine stripe lines with the line width of 250 nm.

## 参考文献

- [1] S. Mochizuki, A. Sakai, N. Taoka, O. Nakatsuka, S. Takeda, S. Kimura, M. Ogawa, and S. Zaima, *Thin Solid Films* **508**, 128 (2006).
- [2] S. Mochizuki, A. Sakai, O. Nakatsuka, H. Kondo, K. Yukawa, K. Izunome, T. Senda, E. Toyoda, M. Ogawa, and S. Zaima, *Semicond. Sci. Tech.* **22**, S132 (2007).
- [3] T. Baumbach, D. Lübbert, and M. Gaihanou, *J. Appl. Phys.* **87**, 3744 (2000).

## 成果発表状況

2007年春季 第54回応用物理学関係連合講演会にて講演予定。

## キーワード

シリコン、ゲルマニウム、歪、X線回折、  
ULSI