

### SiGeにおけるイオンビーム誘起界面非晶質化

石濱, 佑亮 / 山本, 康博 / 柏木, 俊秀 / 飯塚, 健太

---

(出版者 / Publisher)

法政大学イオンビーム工学研究所

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Report of Research Center of Ion Beam Technology, Hosei University / 法政大学イオンビーム工学研究所報告

(巻 / Volume)

36

(開始ページ / Start Page)

16

(終了ページ / End Page)

18

(発行年 / Year)

2017-02-15

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00030306>

### 3. SiGeにおけるイオンビーム誘起界面非晶質化

柏木 俊秀<sup>\*</sup>、飯塚 健太<sup>\*\*</sup>、石濱 佑亮<sup>\*\*</sup>、山本 康博<sup>\*\*</sup>

#### 1. はじめに

##### 1.1 研究背景

イオンビームを用いた再結晶化/非晶質化プロセスとしてイオンビーム誘起エピタキシャル結晶成長法 (IBIEC) とイオンビーム誘起界面非晶質化 (IBIIA) がそれぞれ知られている。IBIECは固相エピタキシャル結晶成長法 (SPEG) と比べて低温で再結晶化ができるというメリットがあり、これまでに多く研究がなされてきた。IBIECは結晶化が起こる現象であるがこれとは逆の現象としてIBIIAがあり、こちらは非晶質化が進む現象である。IBIECに比べてIBIIAの研究例は少ないことから我々はIBIIAについての研究をしている。

##### 1.2 SiGeについて

現在、化合物半導体ではGaAs、GaN、InPなどがよく使われているがこれらはコストが高いとされる。これらの化合物半導体に性能面で肉薄し、かつコストが安いSiGeが目目されるようになった。SiGe

の特徴としてSiのバンドギャップが1.1 eVに対してGeのバンドギャップが0.66 eVと小さくSiGeのGe濃度によってバンドギャップを変えることができる。この特徴を利用したSiGeヘテロ接合バイポーラトランジスタの研究がされており、例えばジョージア工科大学が2014年2月に最大発振周波数798 GHzをもつSiGe-HBTを開発したという発表をした<sup>1)</sup>。またSiの格子定数が $5.43 \text{ \AA}$ なのに対してGeは $5.82 \text{ \AA}$ と異なっており、SiGeは歪を持って結晶成長することになる。この特徴は歪シリコン技術に応用されている<sup>2)</sup>。Geの格子定数がSiよりも大きいためSiGeの格子間隔は大きくなる。SiGe層上のSi層はSiGeに引張られる形で原子間隔が広がり隙間が生じるようになる。これによって電子の移動度が上がり、デバイス的高速動作を実現できるようになる。

#### 2. 実験

CVD法により作成されたSiGe層の厚さが400 nm、Ge濃度が10%のSiGe/Siを試料として実験を行った。図1に実験の流れと実験条件を示す。堆積直後の試料

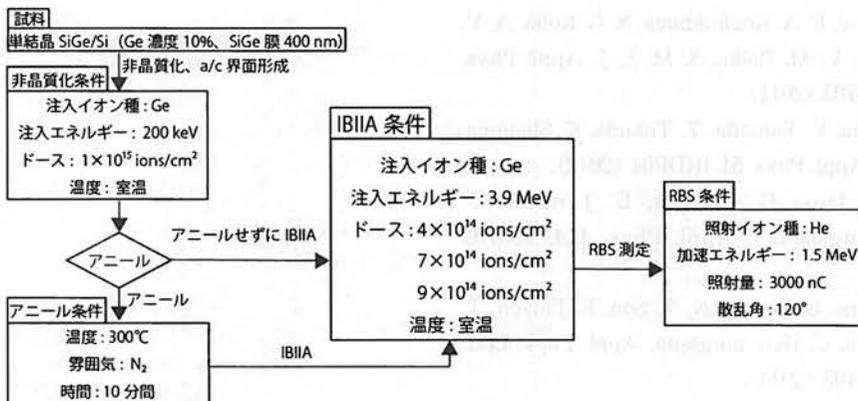


図1 実験条件及び実験の流れ

<sup>\*</sup>法政大学大学院理工学研究科、<sup>\*\*</sup>法政大学理工学部

に対して、エネルギーを200 keV、 $1.0 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>の注入量でGeイオンを室温の下で注入し、SiGe層に結晶質/非結晶質界面を形成した。次にこの試料を、アニールをする場合とアニールをしない場合の2通りに分けた。アニールは窒素雰囲気中で300℃、10分間行った。これらの試料にエネルギーを3.9 MeV、 $4 \times 10^{14}$ 、 $7 \times 10^{14}$ 、 $9 \times 10^{14}$  ions/cm<sup>2</sup>の注入量でGeイオンを室温の下で注入し、IBIIAを行った。IBIIA後の結晶性の評価はRBSにより行った。IBIIAによる非晶質層の増加量は小さく、このわずかな変化を検出するために散乱角を120°に設定した。

### 3. 結果と考察

図2に200 keV、 $1.0 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>でのGeイオン注入後の試料にアニールをする前とした後のRBSによる測定結果を示す。図2により最初のイオン注入で表面からおよそ230 nmが非晶質化したことが分かる。またアニールをしたことで結晶質/非晶質界面がより急峻になることが分かる。図3、4にそれぞれの試料のIBIIA後のRBSによる測定結果を示す。図3、4よりアニールの有無にかかわらずIBIIAが起こることは確認ができた。しかしながら非晶質層の増加量に違いがあり、アニールをしない方がよりIBIIAが進みやすいということが分かった。アニールによる結晶質/非晶質界面の構造の変化がIBIIAの進行度に影響を与えていると考えられる。

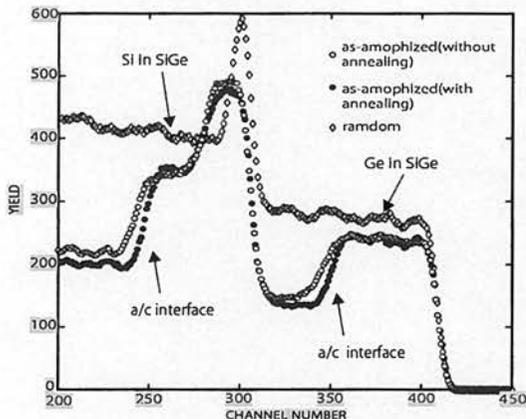


図2 200 keV、 $1.0 \times 10^{15}$  ions/cm<sup>2</sup>でのGeイオン注入により結晶質/非結晶質界面を形成した後にアニールする前とした後でのRBS測定結果

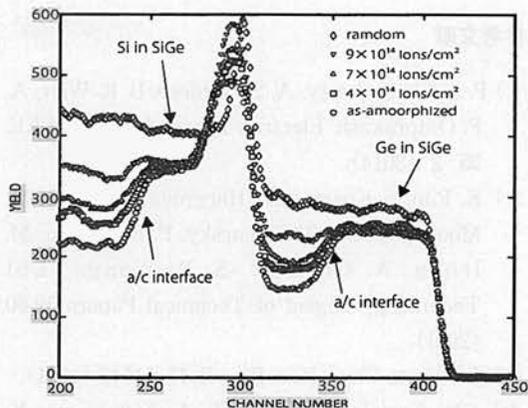


図3 アニールをしなかった試料に対して3.9 MeV、 $4 \times 10^{14}$ 、 $7 \times 10^{14}$ 、 $9 \times 10^{14}$  ions/cm<sup>2</sup>の注入量で、室温の下でのGeイオン注入によるIBIIA後のRBS測定結果

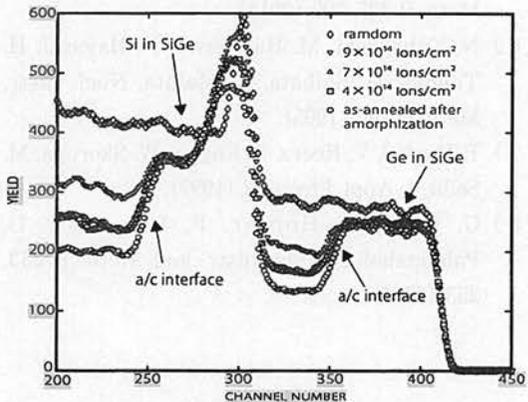


図4 アニールをした試料に対して3.9 MeV、それぞれ $4 \times 10^{14}$ 、 $7 \times 10^{14}$ 、 $9 \times 10^{14}$  ions/cm<sup>2</sup>の注入量で、室温の下でのGeイオン注入によるIBIIA後のRBS測定結果

### 4. 結論

SiGeにおいてアニールの有無にかかわらずIBIIAが起こることが確認されることができた。ただしIBIIAの進行度はアニールの有無により違いが生じ、アニールをしない方がよりIBIIAが進みやすいことが分かった。アニールによって結晶質/非晶質界面がより急峻になることからこの界面の構造変化がIBIIAに影響を与えていると考えられる。今後はこの界面の状態をより詳細に調査をしていく必要がある

参考文献

- 1) P. S. Chakraborty, A. S. Cardoso, B. R. Wier, A. P. Omprakash, Electron Device Letters, IEEE, 35, 2 (2014).
- 2) K. Rim, S. Koester, M. Hargrove, J. Chu, P. M. Mooney, J. Ott, T. Kanarsky, P. Ronsheim, M. Jeong, A. Grill, H. -S. P. Wong, VLSI Technology Digest of Technical Papers 59-60 (2001).
- 3) J. Nakata Phys. Rev. Rev. B 43, 14643 (1991).
- 4) Ch. Angelov, M. Takai, A. Kinomura, Y. Horino, A. Peeva, W. Skorupa, Nucl. Instr. and Meth. B 206, 907 (2013).
- 5) K. Awane, Y. Kokubo, M. Yomogida, T. Nishimura, Y. Yamamoto, Nucl. Instr. and Meth. B 307, 399 (2013).
- 6) N. Kobayashi, M. Hasegawa, N. Hayashi, H. Tanoue, H. Shibata, Y. Makita, Nucl. Instr. Meth. B 106 (1995).
- 7) T. Henkel, V. Heera, R. Kögler, W. Skorupa, M. Seibt, J. Appl. Phys., 82 (1997).
- 8) G. Otto, G. Hobler, P. Pongratz, L. Palmetshofer, Nucl. Instr. and Meth. B 253, 253 (2006).

この論文は、イオンビームを用いた材料加工技術の進展について、特にシリコン基板上の薄膜形成とデバイス特性との関係に焦点を当てて考察している。近年、ナノスケールデバイスへの需要が高まるにつれて、従来の湿式エッチングや蒸着法に加え、イオンビームを用いたドライエッチングやスパッタリング技術が注目を集めている。本論文では、これらの技術の原理と応用について詳しく説明し、最新の研究成果を紹介している。また、イオンビーム加工による材料の特性変化や、デバイス性能への影響についても論じている。この分野の研究は、今後の半導体産業の発展に大きく貢献すると思われる。

