

SiGe におけるイオンビーム誘起界面非晶質化

柏木, 俊秀 / Kashiwagi, Toshihide

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

58

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2017-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014166>

SiGe におけるイオンビーム誘起界面非晶質化

ION BEAM INDUCED INTERFACIAL AMORPHIZATION IN SiGe

柏木 俊秀

Toshihide KASHIWAGI

指導教員 山本康博

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

The surface region of 400 nm thick SiGe/Si containing 10% Ge was amorphized to the depth of 230 nm by Ge ion bombardment to a fluence of 1.0×10^{15} ions/cm² at the energy of 200 KeV at room temperature. Some samples were annealed in a N₂ atmosphere at 300°C for 10 min. Then the samples were bombarded with Ge ions at the energy of 3.9 MeV to fluences of 4×10^{14} , 7×10^{14} and 9×10^{14} ions/cm² at room temperature. Rutherford backscattering spectrometry (RBS) measurements revealed that as the fluence increased the a/c interface between amorphous and crystal proceeded toward internal of the sample, indicating a layer-by-layer movement of the interface. The thickness of the amorphous layer of the sample with and without annealing increased at a rate of $1.65 \text{ nm} / 10^{14}$ ions/cm² and $2.62 \text{ nm} / 10^{14}$ ions/cm² respectively, representing more rapid interface movement in the sample without annealing.

Key Words : SiGe, IBIA, amorphization

1. はじめに

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(IBIA)はいずれもイオンビームを用いた低温での再結晶化、非晶質化の方法として知られている。IBIAは非晶質層が増える方向にa/c界面が動き、layer-by-layerで非晶質化が進む。IBIAの研究はこれとは逆の再結晶化する現象であるIBIECと比べて研究報告が少ない。IBIECとIBIAはSi単体での研究はあるが、高周波デバイスに対して有用とされるSiGeでのIBIECの研究は少なく、また我々の知る限りではSiGeにおけるIBIAの研究例は無い。

本研究ではIBIAによる非晶質化をする前にアニール処理をするかしないかによって非晶質化速度に差が生じることが分かり、この速度差を生じさせる原因に着目した。

2. 実験

本研究ではCVDで作成したSiGe膜が400 nm、Ge濃度10%のSiGe/Siを使用した。照射量を 1.0×10^{15} ions/cm²、エネルギー200 keV、室温の下でGeイオンを照射し、試料内部にa/c界面を形成した。そしてこの試料をアニールした試料としていない試料の2通りに分けた。アニールは300°Cで10分間、窒素雰囲気中で行った。その後、これらの2種類の試料に対してエネルギーを3.9 MeV、照射量を 4×10^{14} 、 7×10^{14} 、 9×10^{14} ions/cm²、室温の下でGeイオン照射を行い、IBIAによる非晶質化を行った。ラザフォード後方散乱法(RBS)によりそれぞれの試料の結晶性の評価をした。RBS測定はHeイオンを用い、エネルギーを1.5 MeVとした。IBIAによるa/c界面の移動はわずかであり、この移動を検出するために散乱角を120°に設定して測定を行った。またアニール前後でのa/c界面を詳細に調べるために透過型電子顕微鏡(TEM)を使用した。

3. 結果と考察

(1) 200 keVGe イオン照射後のアニール前後の比較結果

200 keVGe イオン照射後のアニールをした試料としていない試料の RBS 結果を図 1 に示す。アニールにより a/c 界面が急峻になることを確認した。

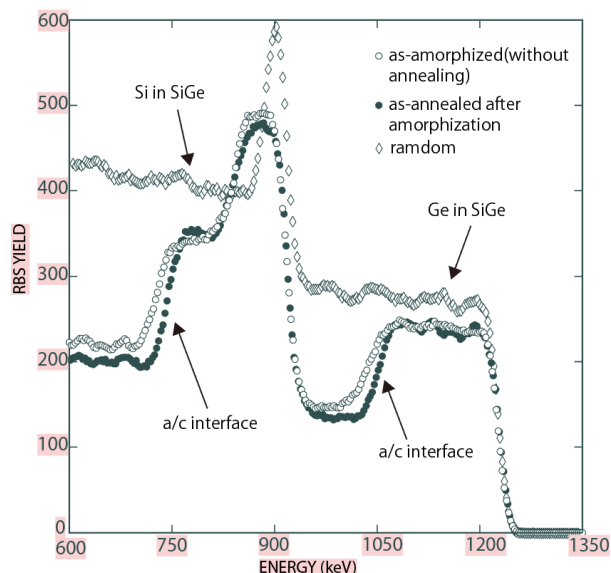


図 1 エネルギー200 keVGe イオン照射後、アニールをした試料としていない試料の RBS スペクトル

(2) 3.9 MeVGe イオン照射後の RBS 結果

図 2、3 にアニールをしなかった試料とアニールをした試料の 3.9 MeVGe イオン照射後の結果をそれぞれ示す。

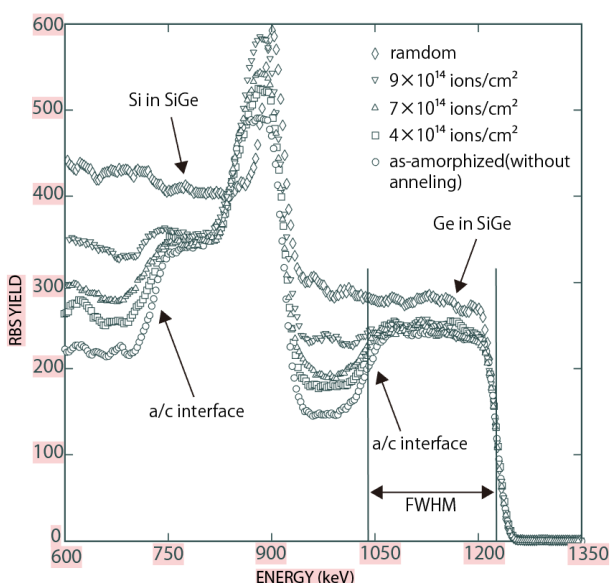


図 2 アニールをしていない試料の 3.9MeVGe イオン照射後の RBS スペクトル

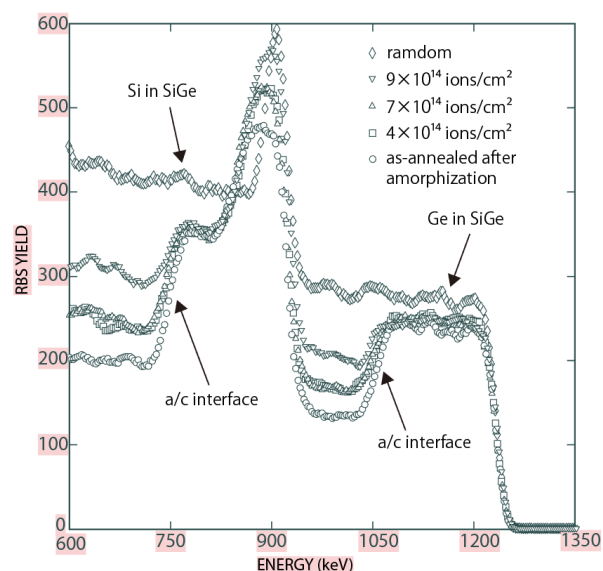


図 3 アニールをした試料の 3.9 MeVGe イオン照射後の RBS スペクトル

これら RBS スペクトルにおいて、アラインスペクトルのアモルファス部分のイールドがランダムスのイールドに到達していないように見えるがこれは検出器やランダムスペクトル測定時の角度によるものだと考えられる。ランダムスペクトル測定時ではチャネリングを防ぐために試料を横に 7° 傾けており一方でアラインスペクトルの測定では試料の傾斜はほとんどない。この角度の差によってアライン測定時の入射イオンの脱出経路が長くなり、その分だけエネルギー損失が増える。これによってイールドの総量は変わらないがスペクトルが横に広がり、結果としてアラインスペクトルのアモルファス層のイールドがランダムスペクトルに一致していないように見えたと考えられる。

アニールをした試料、しなかった試料のどちらにおいても a/c 界面の移動が見られ、IBIIA が起こったといえる。ただし a/c 界面の移動量に違いがあり、アニールをしていない試料の方がアニールをした試料よりも a/c 界面の移動量が多かった。a/c 界面の移動量はスペクトルの端から a/c 界面の間の半値全幅によって算出した。増加したエネルギー幅とイオン照射量の関係を図 4 に示した。アニールをしていない試料は $2.62 \text{ nm} / 10^{14} \text{ ions/cm}^2$ 、アニールをした試料は $1.65 \text{ nm} / 10^{14} \text{ ions/cm}^2$ の速度で a/c 界面が移動しており、アニールをしていない試料の方が IBIIA

が速く進行していることが確認できた。

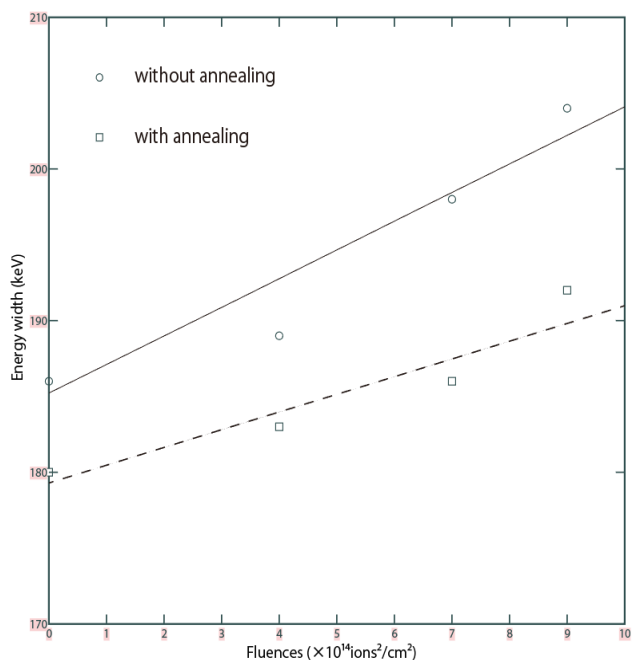


図 4 エネルギー幅と照射量の関係

(3) アニールする前と後の TEM 像

アニール前後における a/c 界面の状態を調べるために TEM を使用した。図 5、6 にアニールをしなかった試料とアニールをした試料 a/c 界面付近の TEM 像を示す。

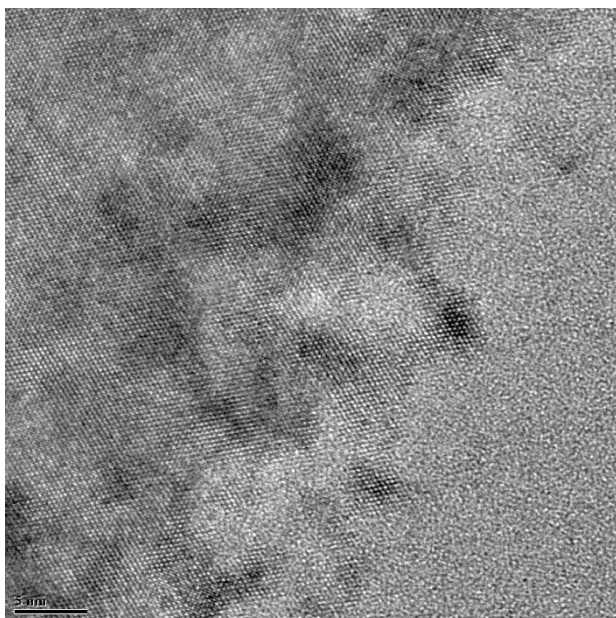


図 5 アニールしていない試料の a/c 界面付近の TEM 像

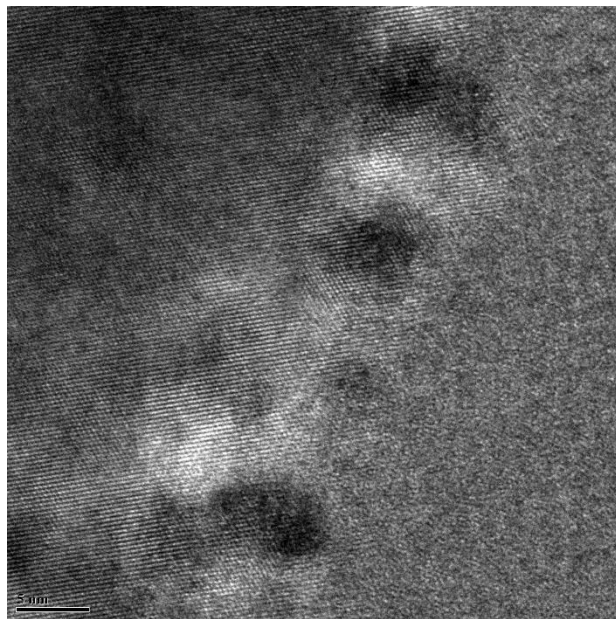


図 6 アニールした試料の a/c 界面付近の TEM 像

アニールをしていない試料は a/c 界面に凹凸が多く見られ、また界面付近に結晶とアモルファスが混在しているような領域が見られた。一方でアニールをした試料においては a/c 界面の凹凸が少なく、また結晶とアモルファスがはっきりと分かれているように見られた。

結晶は原子が規則的に並んでいるのに対して、アモルファスでは原子が不規則な並びをしている。a/c 界面はこの 2 つに挟まれている。例えば、基板と格子定数が異なる材料を基板上に堆積させると格子定数の違いによりストレスが生じるがこれと同じようなことが a/c 界面でも起きing と考えられる。結晶とアモルファス間での原子の並び方が急激に変わることによって a/c 界面上の原子にストレスが生じ、その共有結合が不完全になり、原子が動きやすくなり結果としてアモルファス化しやすくなる。アニールをした試料の a/c 界面は凹凸が少なく、直線的であるが、アニールをしていない試料の a/c 界面は凹凸が多く存在しており曲線的であり、曲線の方が直線に比べて距離が長くなるのでアニールしていない試料の a/c 界面の方がアニールをした場合と比べて長いということになる。a/c 界面が長いということはそれだけストレスの影響が増大し、アモルファス化がしやすくなるということであるのでアニールをしていない試料の方がより速く IBIIA が進行したといえる。また a/c 界面付近にアモルファスになり切れず残った領域においても不完全な結合が増加しアモルファス化

を速める原因になっていると考えられる。

4. 結論

本研究では SiGe を対象に IBIIA の観察をした。はじめの 200keV イオン照射で表面からおよそ 230 nm が非晶質化した。その後試料をアニールせずに 3.9 MeV イオン照射した場合とアニール後に 3.9 MeV イオン照射した場合の 2 通りに分けた。どちらの場合でも a/c 界面の移動が見られ、IBIIA が起きたといえる結果になった。しかし、界面の移動量に違いがあり、アニールをしていない方が多く移動した。界面の移動量を半値全幅で算出し、アニールをしていない試料は $2.62 \text{ nm} / 10^{14} \text{ ions/cm}^2$ 、アニールをした試料は $1.65 \text{ nm} / 10^{14} \text{ ions/cm}^2$ の速度で a/c 界面が移動しており、アニールをしていない試料の方が IBIIA が速く進行した。非晶質化直後とアニール後の a/c 界面を TEM で観測したところ、アニールをしていない試料は a/c 界面に凹凸が多く見られ、また界面付近に結晶とアモルファスが混在しているような領域が見られた。一方でアニールをした試料においては a/c 界面の凹凸が少なく、また結晶とアモルファスがはっきりと分かれているように見られた。a/c 界面上の原子は結晶とアモルファスそれぞれの原子の並び方の違いによりストレスを受け、この影響で結合が不完全になり原子が動きやすくなる。アニールしていない資料の a/c 界面は凹凸があり、曲線的であるので長さとしてはアニールした試料の直線的な界面よりも長くなりその分だけストレスの影響が増え、結果としてアモルファス化しやすくなったと考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導ご鞭撻いただきました山本康博教授、ならびに貴重なご意見、ご助言を頂いた本学イオンビーム工学研究所の西村智朗教授、精密分析室の賀川善裕様、及び山本研究室の諸先輩と同期生の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Chakraborty P. S., Cardoso A. S., Wier B. R., Omprakash, A. P., Cressler. J. D., Kaynak M. and Tillack, B. Electron Device Letters, IEEE, **35**, 2 (2014).
- 2) J. Nakata, Phys. Rev. B **43**, 14643 (1991).
- 3) Ch. Angelov, M. Takai, A. Kinomura, Y. Horino, A. Peeva, and W. Skorupa, Nucl. Instr. and Meth. B **206**, 907 (2013).
- 4) K. Awane, Y. Kokubo, M. Yomogida, T. Nishimura, and Y. Yamamoto, Nucl. Instr. and Meth. B **307**, 399 (2013).
- 5) N. Kobayashi, M. Hasegawa, N. Hayashi, H. Tanoue, H. Shibata, Y. Makita Nucl. Instr. Meth. B, **106**, 289 (1995).
- 6) T. Henkel, V. Heera, R. Kögler, W. Skorupa, M. Seibt, J. Appl. Phys., **82**, 5360 (1997).
- 7) G. Otto, G. Hobler, P. Pongratz, and L. Palmetshofer, Nucl. Instr. and Meth. B **253**, 253 (2006).