

## HfO<sub>2</sub>/GeO<sub>2</sub>/Ge スタック構造における ゲルマニウムと酸素の熱拡散に関する研究

Study of thermal diffusion of germanium and oxygen atoms in HfO<sub>2</sub>/GeO<sub>2</sub>/Ge stacks

TRC<sup>1</sup>, 阪大院工<sup>2</sup> ○小川 慎吾<sup>1,2</sup>, 浅原 亮平<sup>2</sup>, 箕浦 佑也<sup>2</sup>, 迫 秀樹<sup>1</sup>, 川崎 直彦<sup>1</sup>

山田 一子<sup>1</sup>, 宮本 隆志<sup>1</sup>, 細井 卓治<sup>2</sup>, 志村 考功<sup>2</sup>, 渡部 平司<sup>2</sup>

Toray Research Center, Inc.<sup>1</sup>, Graduate School of Engineering, Osaka University<sup>2</sup>,

○S. Ogawa<sup>1,2</sup>, R. Asahara<sup>2</sup>, Y. Minoura<sup>2</sup>, H. Sako<sup>1</sup>, N. Kawasaki<sup>1</sup>, I. Yamada<sup>1</sup>, T. Miyamoto<sup>1</sup>,

T. Hosoi<sup>2</sup>, T. Shimura<sup>2</sup>, and H. Watanabe<sup>2</sup>, E-mail: Shingo\_Ogawa@trc.toray.co.jp

【はじめに】MOSFETの現行のチャンネル材料であるSiをより高いキャリア移動度を有するGeに置き替えて高性能化を促進する研究が進められている。将来的にGeをチャンネルとしたMOSFETを実用化するためには、高誘電率(High-*k*)絶縁膜の導入が不可欠であるが、High-*k*膜として一般的に知られているHfO<sub>2</sub>膜をGeチャンネル上に積層するとデバイス性能が著しく劣化することが報告されている[1]。HfO<sub>2</sub>/Ge界面の反応によりGeがHfO<sub>2</sub>膜中に拡散することが既に報告されており[2]、界面反応を制御する技術も一部報告されているが[3]、原子拡散現象の詳細なメカニズムは明らかになっていない。HfO<sub>2</sub>成膜時の反応と個々の原子の拡散挙動を明らかにし、Ge-MOSFETの性能向上の指針を得るために、本研究では、HfO<sub>2</sub>/GeO<sub>2</sub>/Geスタック構造におけるHfO<sub>2</sub>膜中のGeおよび酸素の拡散挙動をX線光電子分光法(XPS)および酸素同位体(<sup>18</sup>O)を用いた2次イオン質量分析法(SIMS)により詳細に調べた。

【実験】p型Ge(100)基板を希フッ酸と超純水により洗浄し、超高真空中で550°C、10分間の表面清浄化アニールを施した。その後、重酸素(<sup>18</sup>O<sub>2</sub>)を導入したチャンバー内で300°C、5分間のECRプラズマ酸化を施し、Ge基板上に約2nmのGe<sup>18</sup>O<sub>2</sub>膜を形成した。

続けて通常の酸素(<sup>16</sup>O<sub>2</sub>)雰囲気電子ビーム蒸着によりHf<sup>16</sup>O<sub>2</sub>膜を17nm堆積し、HfO<sub>2</sub>/GeO<sub>2</sub>/Geスタック構造を形成した。一部の試料には、GeO<sub>2</sub>膜形成前にAl蒸着レート換算値で約0.15nmのAl膜を蒸着し、その後上記の成膜プロセスを経ることで、HfO<sub>2</sub>/AlO<sub>x</sub>/GeO<sub>2</sub>/Geスタック構造を形成した[4]。以上のプロセスは全て真空中で連続して実施した。作製した試料に対して、200~500°C、10分の真空アニールを施した後XPSおよびSIMS分析を実施した。

【結果】HfO<sub>2</sub>/GeO<sub>2</sub>スタックのGeと<sup>18</sup>Oのデプスプロファイルを図1に示す。Geのプロファイルにおいて、200°Cの比較的低温のアニールでもGeがHfO<sub>2</sub>膜中に拡散し、アニール温度が高くなるほど拡散量は増加した。HfO<sub>2</sub>膜中に拡散したGeはHfO<sub>2</sub>膜表層に偏析する特異な挙動を示したが、一方で、酸素(<sup>18</sup>O)はHfO<sub>2</sub>/GeO<sub>2</sub>界面から徐々に広がる分布を示した。これらのことから、HfO<sub>2</sub>膜中に拡散するGeと酸素の熱拡散は独立していることが明らかとなった。当日はHfO<sub>2</sub>/GeO<sub>2</sub>界面に極薄AlO<sub>x</sub>膜を導入した際の拡散抑制の効果も示す。【参考文献】[1] N. Wu *et al.*, APL **84**, 3741 (2004). [2] Y. Kamata *et al.*, JJAP **44**, 2323 (2005). [3] R. Zhang *et al.*, Dig. Tech. Pap. -Symp. VLSI Technol. **2012**, 161. [4] I. Hideshima *et al.*, Curr. Appl. Phys. **12**, S75 (2012).

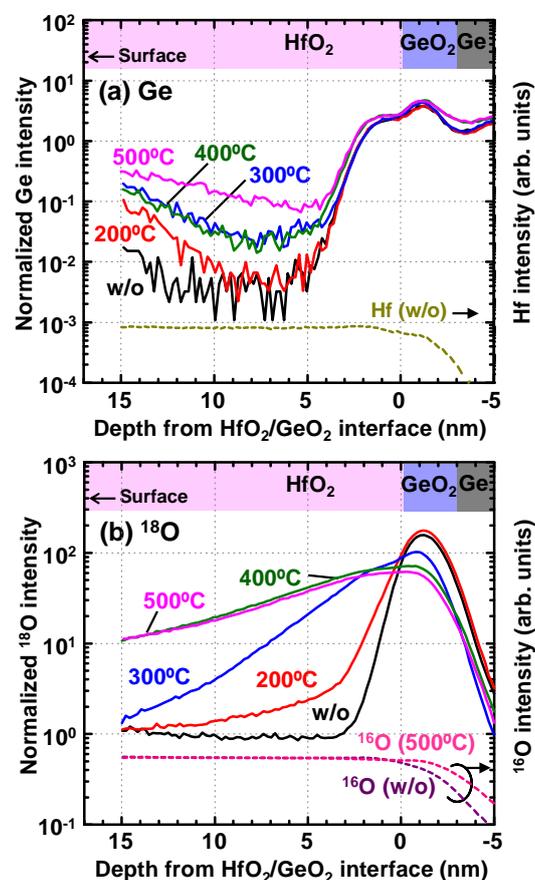


Fig. 1 Depth profiles of (a) Ge and (b) <sup>18</sup>O in HfO<sub>2</sub>/GeO<sub>2</sub>/Ge stacks obtained by SIMS.