

低温・超低損傷中性粒子ビーム酸化を用いた GeO_x 薄膜構造の制御Control of Structure of GeO_x Thin Film Using Low-Temperature and Damage-Free Neutral-Beam Oxidation Process東北大流体研¹、東北大 WPI-AIMR²、東大院工³○中山 大樹¹、大野 武雄²、張 睿³、高木 信一³、寒川 誠二^{1,2}○Daiki Nakayama¹, Takeo Ohno², Rui Zhang³, Shinichi Takagi³, and Seiji Samukawa^{1,2}

E-mail: samukawa@ifs.tohoku.ac.jp

[序論] Si に代わる pMOSFET の高移動度チャンネル材料として Ge が注目されている。 GeO_2/Ge 界面は熱的に不安定であることから、低温の酸化プロセスを用いた高品質な GeO_2/Ge 界面の形成が求められている。これまでに、東京大学・高木らによって、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 構造をプラズマ酸化して $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_x/\text{Ge}$ ゲートスタックを形成するプラズマ後酸化法(plasma post-oxidation)を用いることで、 $EOT=0.98$ nm、界面準位密度(D_{it})= $2 \times 10^{11} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ($E_t=0.2\text{V}$)が実現されている[1]。このような GeO_x 膜厚が約 1 nm 以下となる $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_x/\text{Ge}$ ゲートスタックにおいては、 GeO_x 膜構造が D_{it} や電気特性を決定付ける重要な要素であると考えられる。我々のこれまでの検討から、ビームエネルギー：5~10 eV の条件で中性粒子ビームで直接酸化を行うことでサブオキシドの極めて少ない Ge 酸化膜を形成可能であることがわかった[2]。しかし安定した界面を持つ GeO_x を作製するためには post-oxidation がより優れており、酸素・中性粒子ビームによる post-oxidation を試みている[3]。本研究では、超低損傷中性粒子ビーム酸化を用いて Al_2O_3 膜を介して post-oxidation を行い、ビームエネルギーによる GeO_x 膜構造の変化を観察した。

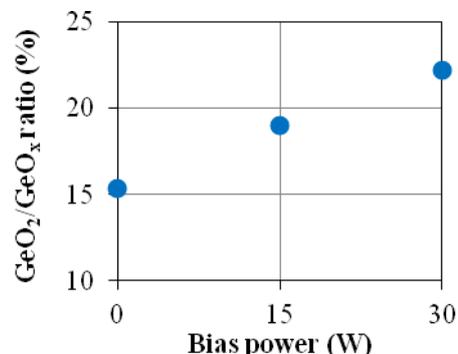
[実験] 自然酸化膜を除去した Ge 基板上に Al_2O_3 膜を 0.5 nm 堆積した後、酸素中性粒子ビームを照射して post-oxidation することで $\text{Al}_2\text{O}_3(0.5 \text{ nm})/\text{GeO}_x(1.4 \text{ nm})/\text{Ge}$ 構造を形成した。中性粒子ビームは、ICP パワー：500 W、 O_2 流量：5 sccm の条件で生成し、ビームエネルギーは、ビーム加速用バイアス：0、15、30 W を印加することで変化させた。作製した $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_x/\text{Ge}$ 構造を XPS で分析し、Ge3d XPS スペクトルを Ge^{0+} 、 Ge^{1+} 、 Ge^{2+} 、 Ge^{3+} 、 Ge^{4+} にピーク分離し、 GeO_x からの信号(Ge^{1+} 、 Ge^{2+} 、 Ge^{3+} 、 Ge^{4+} の合計)の強度に占める GeO_2 からの信号(Ge^{4+})の強度を求めて $\text{GeO}_2/\text{GeO}_x$ ratio と定義した。

[結果・考察] 図 1 に $\text{GeO}_2/\text{GeO}_x$ ratio のビームエネルギーに対応するバイアス出力依存性を示す。バイアス出力の上昇に伴って $\text{GeO}_2/\text{GeO}_x$ ratio、すなわち GeO_x 膜中の GeO_2 の割合が増加した。これは、ビームエネルギーが上昇することで $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 界面到達時の酸素原子の運動エネルギーが上昇し、Ge の酸化反応が促進されたためであると考えられる。今後、 GeO_x 膜構造と D_{it} の関係の解明を行っていく。

[1] R. Zhang et. al., Tech. Dig. IEDM (2011) 642.

[2] A. Wada et. al., Appl. Phys. Lett. **98** (2011) 203111.

[3] 和田 章良 他, 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 28p-G2-12 (2013).

Figure 1. Dependence of $\text{GeO}_2/\text{GeO}_x$ ratio on bias power.