

論文内容要旨

報告番号	甲 先 第 189 号	氏 名	出来 真斗
学位論文題目	炭化ケイ素金属-酸化膜-半導体デバイスの放射線誘起破壊現象に関する研究		

内容要旨

近年、パワーデバイスの低損失化が求められており、ワイドバンドギャップ半導体は、低損失化を達成する材料として注目されている。とりわけ、炭化ケイ素 (Silicon Carbide : SiC) は優れた材料物性から、低損失パワーデバイス材料として実用化が望まれている。パワーデバイスの一つである SiC 金属-酸化膜-半導体 (Metal-Oxide-Semiconductor : MOS) デバイスでは、従来のシリコン (Si)-MOS デバイスに対して、約10倍の電界強度で用いることを想定しており、動作信頼性の評価がより重要となる。半導体デバイスの信頼性を評価する上で放射線照射による誤動作の影響は顕著である。そのなかでも悪影響の大きい放射線照射効果のひとつに、シングルイベント効果 (Single Event Effect : SEE) が挙げられる。SEE とは1個の高エネルギー荷電粒子が半導体デバイス内部に入射した際に、電離によって発生する高密度の電子-正孔対が原因で、半導体デバイスの故障や誤作動を引き起こす現象であり、MOS デバイスにおいては、ゲート酸化膜が破壊される現象 (Single Event Gate Rupture : SEGR) があるとして知られている。SEGR は宇宙や原子力のような特殊な放射線環境だけではなく、宇宙線由来の中性子線によって、地上で通常用いられる Si-MOS デバイスにおいても発生することが知られており、大きな問題となっている。加えて、これまでの Si-MOS デバイスの研究では、デバイス内部における電界強度が高いほど SEGR が発生しやすいことが知られており、従来に比べ10倍の電界強度で用いる SiC-MOS デバイスにおいて SEGR の発生機構を解明し、その対策を講じることは信頼性の担保に不可欠である。より詳細な SEGR の評価のためには、デバイスの静電容量やリーク電流を計測しながら、1個の高エネルギー重イオンを、MOS デバイスの任意の領域に照射し、酸化膜の絶縁破壊電界 (E_{cr}) を観測することが必要となる。以上のような背景を踏まえ、SiC-MOS キャパシタへ直流電圧を印加した状態で、単一の高エネルギー重イオンをデバイスに照射し、キャパシタのリーク電流の変動を測定することで、 E_{cr} 評価が可能な測定体系を構築し、それらを用いて E_{cr} 評価を行った。最終的に、高エネルギー重イオンが半導体材料に与えるエネルギー (Linear Energy Transfer: LET) と E_{cr} の関係を明らかにした。

用いた基板は、n型エピタキシャル層を成長させた 4H-SiC 基板であり、基板上に熱酸化膜とゲート電極を有する MOS キャパシタを作製し

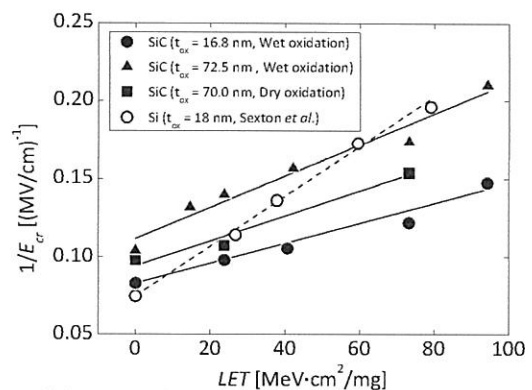


Fig. 1 LET dependence of E_{cr} in ion irradiated SiC and Si-MOS

た。ゲート酸化膜は、Wet および Dry 酸化により形成した。デバイスへ照射する高エネルギーイオンの LET は、 $14.6\sim 94.2 \text{ MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$ とした。イオン照射を行いながらキャパシタの蓄積方向へ電界を印加し、酸化膜が絶縁破壊するまで印加電荷を増加させた。絶縁破壊は酸化膜のリーク電流をモニタする事で検出した。絶縁破壊が生じた際の印加電界を E_{cr} と定義し、 E_{cr} と LET の関係を調べた。Fig. 1 に E_{cr} の LET 依存性を示す。全ての SiC MOS キャパシタにおいて、 E_{cr} の逆数 (E_{cr}^{-1}) は LET の増加に伴い直線的に増加するという、これまで Si で報告されている結果と同様であることが判明した [Sexton *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. 44, pp. 2345-2352, 1997]。この成果は SiC MOS デバイスにおいて初めての結果である。また、 E_{cr}^{-1} - LET の傾きは、酸化条件や厚さによらず SiC でほぼ同じである。SiC における E_{cr}^{-1} - LET の傾きは、Si と比較して 1/3 程度であり、SiC MOS キャパシタは Si MOS キャパシタよりも SEGR 耐性が高いことを明らかにした。この研究成果は、SiC パワーデバイスが Si パワーデバイスよりも、高い信頼性の担保を得ることができる事実を示す結果である。

論文審査の結果の要旨

報告番号	甲 先 第 189 号	氏 名	出来 真斗
審査委員	主査 原口 雅宣 副査 井須 俊郎 副査 敖 金平 副査 直井 美貴		
学位論文題目 炭化ケイ素金属-酸化膜-半導体デバイスの放射線誘起破壊現象に関する研究			
審査結果の要旨 <p>本研究は、炭化ケイ素 (SiC) MOSデバイスの放射線照射による動作特性への影響を調査したものである。ワイドギャップ半導体であるSiCは、宇宙空間等の耐環境デバイスとして有望なパワーデバイスの一つであり、デバイスの信頼性を評価する観点から、その放射線照射による影響を調査することは重要である。本論文では、特に、SiC-MOSキャパシタへ直流電圧を印加した状態において、単一の高エネルギー重イオンを照射し、キャパシタのリーク電流の変動を測定することにより、酸化膜の絶縁破壊電界 (E_{CR}) を実験的に評価している。4H-SiC基板上に作製されたMOSキャパシタに対して、重イオン照射を行いながらキャパシタの蓄積方向へ電界を印加し、酸化膜が絶縁破壊するまでの印加電荷を増加させながらE_{CR}を求め、高エネルギー重イオンが半導体材料に与えるエネルギー (LET) とE_{CR}の関係を調査している。調査したすべてのSiC MOSキャパシタにおいて、E_{CR}の逆数がLETの増加にともない線形的に増加するという結果を、SiC MOSデバイスにおいてはじめて明らかにし、また、E_{CR}の逆数とLETの傾きが、酸化条件や酸化膜厚によらず一定であること、シリコンデバイスと比較してその傾きが1/3程度であり、SiC MOSキャパシタはシリコンと比べゲート酸化膜の破壊に対して強い耐性をもつことを明らかにしている。</p> <p>以上のように、本研究は、SiCパワーデバイスがSiパワーデバイスよりも高い信頼性をもつ事を明らかにし、半導体パワーデバイスに関する分野に十分寄与するものであり、本論文は博士 (工学) の学位授与に値するものと判定する。</p> <p>なお、本論文の審査には、富田卓朗准教授 (徳島大学) および大島武グループリーダー (日本原子力研究開発機構) の協力を得た。</p>			