

耐放射線性炭化ケイ素半導体デバイスの開発

Development of Radiation Resistant Silicon Carbide Semiconductor Devices

量研¹, 広島大ナノデバイス², 産総研³ ○大島 武¹, 武山 昭憲¹, 牧野 高紘¹,
黒木 伸一郎², 田中 保宣³

QST¹, Hiroshima Univ.², AIST², °T. Ohshima¹, A. Takeyama¹, T. Makino¹, S-I. Kuroki², Y. Tanaka³

E-mail: ohshima.takeshi@qst.go.jp

半導体デバイスは、性能向上とともに過酷環境での使用が期待され、その結果、要求仕様も厳しくなる。例えば、宇宙では高温や低温、更にはそれらの熱サイクル、及び放射線を考慮した耐久性・信頼性が必要とされるし、地上においても医療や原子力、加速器施設などでは放射線に対する耐性を考慮する必要がある。また、対象となる環境により考慮すべき照射効果が異なるため、どのような環境での使用を想定するかで、耐放射線性の評価も異なることにも注意しなければならない (Fig. 1)。例えば、今回のシンポジウムのテーマでもある原子炉の廃止措置などでは、残留する放射性物質からのガンマ線が主であることから、トータルドーズ効果を考慮して耐性評価・強化を図る必要がある。加えて、どのような用途・状況で用いるデバイスかによって、耐性強化技術が異なることにも注意を払う必要がある。例えば遮蔽により耐性向上を図ることは可能であるが、重量増加という問題が発生することは容易に想像がつくし、そもそも撮像素子のように遮蔽することで本来の「見る」という目的が達成できなくなるという場合もある。また、トータルドーズ効果では、半導体そのものというよりはデバイスとして構成される絶縁膜（酸化膜）や、その絶縁膜と半導体の界面が問題となるため、デバイス構造やデバイス作製プロセスが耐放射線性に大きく影響する。従って、MOS 電界効果トランジスタ (FET) よりショットキー障壁を用いた Metal-Semiconductor (MES) FET や pn 接合型の JFET の方が優れた耐放射線性が期待できる。

本講演では、炭化ケイ素 (SiC) 半導体デバイスを中心に、トータルドーズ効果の観点から、デバイス作製プロセスや構造の違いが耐放射線性に及ぼす影響を考察するとともに、我々が進めている SiC を用いた撮像素子の開発の現状について紹介する。

本研究の一部は科研費基盤 (A) 20H00252 により行われた。

はじき出し損傷効果 (Displacement Damage Effects)

総量で劣化が決まる

放射線入射により結晶に発生する損傷 (欠陥) が原因で特性が低下する現象非イオン化エネルギー損失 (Non-Ionizing Energy Loss: NIEL) が重要

トータルドーズ効果 (Total Ionizing Dose Effects)

総量で劣化が決まる

金属-酸化 (絶縁) 膜-半導体 (MOS) デバイスで、放射線照射により酸化膜や酸化膜/半導体界面に発生する固定電荷や界面準位により特性が低下する現象

シングスイメント効果 (Single Event Effects)

単一粒子の入射でも発生

放射線 (主に重イオン) が半導体デバイスに入射した時に発生する誘起電荷 (電子-正孔対) により誤動作や破壊が起こる現象で線エネルギー付与 (Linear Energy Transfer: LET) が重要

Fig. 1 Typical radiation effects on semiconductor devices