先進パワーデバイスにおける新規ゲート絶縁膜開発

Development of Advanced Gate Insulators for Power Semiconductor Devices

°渡部 平司、細井 卓治 （阪大院工）
°Heiji Watanabe, Takuji Hosoi (Osaka Univ.)
E-mail: watanabe@mls.eng.osaka-u.ac.jp

各種の半導体デバイスにおいて、良質な絶縁膜の実現は重要な研究開発課題である。特に MOS 型トランジスタを構成するゲート絶縁膜は、素子の駆動能力を左右するだけでなく、その絶縁破壊耐圧やストレス印加時の電荷トラップ現象がデバイス信頼性の決定要因となる。また、MOS 型以外のデバイス構造でも表面パッシベーション膜として絶縁膜は無くてはならない材料である。シリコン表面の熱酸化で形成される SiO_2 は、ゲート絶縁膜としても、また安定なパッシベーション膜としても極めて高品質な材料である。最先端の集積回路開発で膜厚が 1nm に迫る極薄ゲート絶縁膜の実用化が進む一方、パワーデバイス応用では絶縁膜は比較的厚くてもよいが、破壊耐圧や閾値電圧変動に対して高い信頼性が要求される。

従来のシリコン系パワーデバイスにおいては、シリコンテクノロジーで培われた様々な技術の応用が可能であるが、ワイドバンドギャップ半導体をベースとした次世代パワーデバイスでは、ゲート絶縁膜開発は未だ発展途上である。例えば SiC の利点として熱酸化で SiO_2 絶縁膜が形成可能であることが挙げられるが、SiC-MOS の界面電気特性は理想とは程遠い。この界面特性劣化の起源として気相中に外方拡散しきれない CO_x 反応生成物の界面偏析がよく論じられるが、問題はそれ程単純ではなく、SiC 結晶への酸素の挿入反応に際して SiO_2/SiC 界面に C=C 結合等が形成されると言った本質的な問題点を指摘する報告も多い。また、SiC-MOS の界面欠陥終端技術として水素アニールでは不十分である。Si-MOS では界面原子密度の数百から数千個にひとつの欠陥を水素が選択的に終端するが、SiC-MOS においてはその様な効果は期待できない。SiC-MOS の界面特性改善手法としては NO_x ガス中での高温熱処理による界面窒化が広く用いられているが、シリコンデバイスでは MOS 界面への窒素導入（SiN_x 挿入）は信頼性劣化の原因であることは周知であり、現在の SiC-MOS は頑固な界面欠陥を軽めの毒で抑え込んでいるのが現状である。従って、SiC-MOS デバイスの信頼性改善に向けた取り組みとしては、毒を混ぜない単純な SiO_2/SiC 界面の実現が正しい方向性であろうが、C=C 結合の生成が自明であるのであれば、SiC-MOS デバイスの信頼性確保には材料科学に基づいた熱酸化工程の再検討が必須である。一方、GaN デバイスにおいても、パッシベーション膜あるいは MOS 型デバイスのゲート絶縁膜として絶縁膜開発が重要となるが、Si や SiC とは異なり堆積膜が唯一の選択肢となる。近年、膜質に優れたアルミナや各種の高誘電率膜の研究が進み、堆積絶縁膜の破壊耐性確保や膜中電荷トラップ低減に関しては従来技術が活用できる。しかし、堆積絶縁膜とのヘテロ界面の形成においては GaN あるいは AlGaN 表面の清浄化技術や、界面原子構造の精密制御技術などの研究開発課題が山積している。

本講演では、次世代 MOS 型パワーデバイス開発における高品質ゲート絶縁膜研究について、Si、SiC さらには GaN デバイスでの類似点や重点的に取り組むべき課題について比較検討すると共に、シリコンテクノロジーから学ぶべき研究戦略について論じたい。

© 2015年 応用物理学会