

パワーデバイス用横型 GaN HEMT の 動作原理に関する研究

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

13族元素と窒素から構成される窒化物半導体は、バンドギャップエネルギーを0.7から6.4 eVまで広く変えることができる。さらに、異種基板上に高品質な結晶が成長できるため、光、高周波、パワーなどの幅広い分野に適用されている。特に横型GaN High Electron Mobility Transistor (HEMT)は、窒化ガリウム(GaN)の高絶縁破壊電界強度とAlGaIn/GaNヘテロ接合の高濃度2次元電子ガス(Two Dimensional Electron Gas, 2DEG)をあわせもつ。このため、高耐圧かつ高電流のパワートランジスタとして期待されている。図1に理想的なパワートランジスタのドレイン電流(I_D) - ゲート電圧(V_{GS})特性を示す。まず、高パワー動作のためにオフ状態(逆方向電圧)における耐圧が高いことである。オン状態(順方向電圧)においては、微分抵抗が低く高電流動作が可能であることである。さらにフェールセーフ機能を得るために I_D が流れ始める V_{GS} (しきい値)が正の電圧となること(ノーマリーオフ動作)が要求される。これらの特長を兼ね備えるパワートランジスタ用GaN HEMTを実現するために、動作原理から研究する取り組みを行っている。

■ 活動内容

図2に研究対象であるノーマリーオフ横型GaN HEMT(Extrinsically electron Inducing by Dielectric (EID) MOS-HEMT)の断面構造模式図を示す。高耐圧化のためにチャンネルにGaNを採用している。また、高電流(低抵抗)を実現するためにアクセス(ソース・ゲート、ゲート・ドレイン)領域に高電子濃度の2DEGを形成する。さらにノーマリーオフ動作を実現するためにゲート下に薄膜(5 nm)のAlGaInを形成している。薄膜AlGaInとGaNのヘテロ接合で

は V_{GS} が0 Vで、ゲート電極下に2DEGが形成されないで、 I_D が流れないノーマリーオフ動作となる。この構造では薄膜AlGaInがソースからドレインに渡り全体に形成されている。このため、原理的にはアクセス領域の電子濃度はあまり高くないと考えられるが、低抵抗が実現されている。これは、アクセス領域に電荷が存在し、高濃度2DEGが形成されていることが示唆される。そこで、電荷が誘起される要因の一つは膜中の残留応力によるピエゾ分極の増加と考えられる。トランジスタ作製プロセスでは絶縁膜 SiO_2 や金属の堆積、熱処理などが加えられるため、膜中に残留応力が発生する。ここでは、Technology Computer Aided Design (TCAD)を用いてアクセス領域の SiO_2 膜中の残留応力が I_D - V_{GS} 特性に与える影響を検討した結果を紹介する。

図3は I_D - V_{GS} 特性の SiO_2 残留応力依存性を示す。 SiO_2 に負(圧縮)の応力が発生することで、ノーマリーオフ動作を保ったまま、 I_D が増加する。一方、応力がない場合、正(引張)の応力では I_D が流れない。このことからアクセス領域に負(圧縮)の応力を与えることで、オン状態の I_D だけを増加させることが可能である。図4に SiO_2 に-2 GPaの圧縮応力を加えた場合に対する電子濃度の2次元分布を示す(V_{GS} 0 V)。ゲート電極下では電子が存在せず、ノーマリーオフ動作となっている一方、アクセス領域に高濃度の電子が発生している。よって、アクセス領域の SiO_2 に対する圧縮応力はAlGaInにおけるピエゾ分極を増加させ、AlGaIn/GaNヘテロ接合に高濃度2DEGを形成すると考えられる。この応力の影響はゲート下に及ぼす影響は少ないため、ゲート下の電子濃度は増えず、ノーマリーオフ動作を保っていると考えられる。

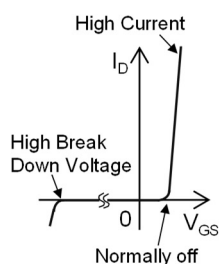


図1 理想的なパワートランジスタの I_D - V_{GS} 特性

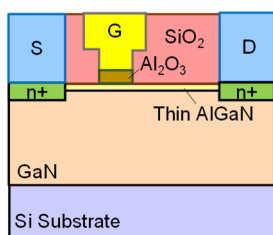


図2 パワーGaN HEMTの断面構造模式図

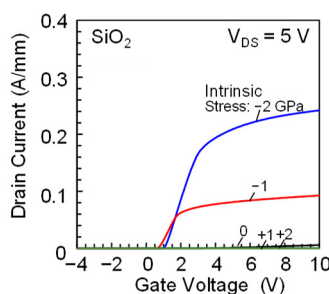


図3 I_D - V_{GS} 特性の残留応力依存性

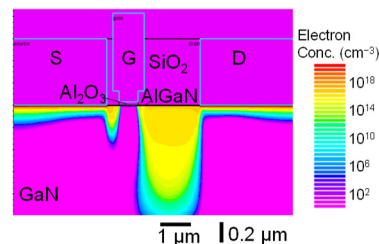


図4 電子濃度分布 (SiO_2 残留応力 -2 GPa)

代表発表者 野田 和哉(のだ かずや)
所 属 佐賀大学
理工学部理工学科
電子デバイスコース

問合せ先 〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1
21238315@edu.cc.saga-u.ac.jp

■キーワード: (1) GaN トランジスタ
(2) 応力
(3) TCAD シミュレーション
■共同研究者: 大石 敏之(佐賀大学)