

独立行政法人産業技術総合研究所と国立大学法人山梨大学は、シリコンカーバイド (SiC) を用いた、世界でもっとも損失の小さいパワー用スイッチング素子を共同で開発した。シリコンカーバイド半導体には、2020年時点で我が国の1990年全炭酸ガス排出量の約1%を削減する大きな省エネ効果が期待されている。

今回開発したパワートランジスタでは、インバータ回路に採用した場合、従来のシリコン (Si) パワートランジスタの1/12の電力損失に相当する、耐圧700V、オン抵抗 $1.01\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$ を実現した。独自に開発した製造プロセスを使い、微細な溝構造を形成するエッチングプロセス条件の最適化と、溝構造の上でのエピタキシャル成長を可能とする条件を見出した。

このスイッチング素子には、家電機器、無停電電源、ハイブリッド車などの電動車両、産業用大型モーターなどのインバーターや分散電源など、広範囲にわたる応用が見込まれている。

## トピックス 7 SiC で世界最高性能のパワートランジスタを開発

産業技術総合研究所のパワーエレクトロニクス研究センターと山梨大学大学院 医学工学総合研究部は共同で六方晶-4Hといわれる結晶形を持つ炭化珪素 (4H-SiC) を使って、 $p^+$  ゲート領域を埋め込んだ構造の静電誘導型トランジスタ (埋込ゲート型 SiC-SIT: SiC-Static Induction Transistor) を開発した。独自の製造プロセスを使って作製し、耐圧700V、オン抵抗 $1.01\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$ の性能が得られた。この特性は現在のインバータ回路で用いられているシリコン(Si)のIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) と比較して、電力損失が1/12と大幅に低減するものと期待される。

SiCはシリコン(Si)の約3倍のバンドギャップを持つため、耐電圧性、耐熱性が良いことに加え、熱伝導性もSiより3倍以上良いため、パワー用Siトランジスタの性能限界を超えることが出来る。同一の耐圧を持つパワーデバイスを作製するとSiによるデバイスよりも低損失の素子を実現できるとして、並行して開発されているMOS型のSiCトランジスタと共に将来の省エネデバイスとして期待されてきた。

製造プロセスのポイントは非常に硬い材質で加工が困難であるSiCの微細加工と、段差のある溝構造へのエピタキシャル成長 (基板など元となる結晶と特定の方角関係にある結晶膜を堆積成長させる方法) の最適条件を見出したことである。

素子の製造工程の概要は以下の通りである。 $n^+4H^-$  SiC基板の上に $n^-$ ドリフト層、更にその上に $p^+$ ゲート層をエピタキシャル成長させた後、ドライエッチング法により $p^+$ ゲート層のみを分離させ、微細な溝構造を形成する。その段差のある溝の上から $n^-$ チャンネル領域をエピタキシャル成長により形成する。その後、 $n^+$ ソース領域をイオン注入により形成し、活性化熱処理後、ソース電極及

びドレイン電極を形成し、素子が完成する。

微細な溝構造の形成は、エッチングマスク材の選定及びエッチング条件 (ガス種、ガス圧力、ガス流量、エッチング時間) の最適化を図ることにより可能となった。

このエッチングプロセスの精度が素子特性をほぼ決定する。

また通常、エピタキシャル成長は平坦な基板に行われるが、SiC基板の結晶方位、温度やガス流量等の条件を最適化することによりエピタキシャル成長が可能となった。このようにして作製された素子の断面を電子顕微鏡で観察すると、 $p^+$ ゲート領域は完全に埋込まれ、それらの間にサブミクロンの幅で $n^-$ チャンネル領域が形成されていることが分かった。

この開発で産業技術総合研究所は素子作製プロセスを、山梨大学は各部の寸法、ドーピング濃度などと素子特性の関係のシミュレーションを担当した。

開発したトランジスタの応用は家電機器、無停電電源、ハイブリッド車などの電動車両、産業用大型モーターなどのインバーターや分散電源など広範囲にわたる。

今回の開発で達成したオン抵抗値のSiCトランジスタは平成14年度に完了した国家プロジェクト「超低損失電力素子技術開発」で省エネ効果を試算した時に用いた性能であり、例えばモータ制御に使われる汎用インバータに適用された場合、その2020年時点での省エネ効果は、導入量が4,100万台として、年間366万トンの炭酸ガス排出量に相当し、これは我が国の1990年全炭酸ガス排出量の約0.3%に当たる。その他の応用分野を含めた場合、我が国では同約1%の削減が見積れるという。