

結晶評価の立場から見た各種パワー半導体材料 パワーデバイス用結晶の評価 (X)

Evaluation of Semiconductor Materials for Power Devices

千葉工大工 ○山本 秀和

Chiba Institute of Thechnology ○Hidekazu Yamamoto

E-mail: yamamoto.hidekazu@it-chiba.ac.jp

結晶欠陥の二面性

結晶とは、原子が三次元方向に周期的に配列したものである。この周期的な配列を乱すものは全て結晶欠陥である。結晶欠陥には、デバイス構造を実現するための欠陥とデバイス特性を劣化させる欠陥がある。前者にはドーパント不純物や様々な接合等があり、半導体ウエハおよびチップ製造工程において、制御して導入される。一方、後者にはデバイス領域の転位や積層欠陥、重金属不純物等があり、予期せずにあるいは想定以上に導入される。

結晶評価の重要性

半導体デバイスの開発・製造は、結晶欠陥の適切な制御によって実施されてきた。結晶欠陥の制御は、結晶欠陥の評価技術があって初めて可能となる。所望のチップ特性を実現するための結晶欠陥は、例えば、ドーパント不純物の量や分布を制御し、MOS 界面準位を制御する必要があるが、評価手法なしに制御を行うことは不可能である。

デバイス特性を劣化させる結晶欠陥に関しては、どの工程のどのような条件で、結晶中のどこに導入されるかを知ることにより、対策を打つことができる。そのためには、やはり結晶欠陥の評価技術を確立することが必須である。

Si パワーデバイスにおける結晶欠陥の影響

Si パワーデバイスの歴史においても、結晶欠陥が様々な影響を及ぼしてきた。特に Si 集積回路と比較して大きく異なるのは、結晶に FZ 結晶や厚いエピタキシャル層を持ったエピタキシャルウエハが用いられることとプロセス温度が高いことである。そのため、スリップやミスフィット転位が発生しやすい。また、不純物汚染の機会が多くなる。これらに対する対策を実施することにより、デバイス製造が行なわれてきた。

ワイドギャップ半導体における結晶評価

次世代パワーデバイス用として SiC や GaN 等のワイドギャップ半導体が期待されている。ワイドギャップ半導体は結晶製造が難しく、Si 比べると格段に結晶欠陥が多い。Si では無転位が当たり前であるが、SiC には高品質な結晶でも $10^2 \sim 10^4 \text{ cm}^{-2}$ の転位が存在する。また、パワーデバイス用としての使用が始まった GaN on Si では $10^6 \sim 10^8 \text{ cm}^{-2}$ の転位が存在する。さらに、SiC、GaN ともに転位以外の結晶欠陥も多く存在する。つまり、結晶欠陥のない結晶でのチップ製造はありえない。従って、ワイドギャップ半導体の結晶評価技術としては、デバイス特性との比較からデバイスの致命欠陥を明確にして影響の大きい欠陥から撲滅していくことが重要である。

結論

試作されたワイドギャップ半導体パワーデバイスの性能は、Si パワーデバイスを凌駕する。しかしながら、ワイドギャップ半導体パワーデバイスが現状の少量生産から Si パワーデバイスに対抗できる本格量産体制に移行するためには、結晶評価技術を早期に確立し、結晶およびチップ製造技術にフィードバックすることが重要である。