

## DLTS/MCTS 法による GaN の電子・正孔トラップ評価と制御

徳田 豊 (愛知工業大学工学部電気学科)

## 目 的

ワイドバンドギャップ半導体 GaN ( $\sim 3.4$  eV) を用い、青色を中心とした発光デバイスや高電子移動度トランジスタ (HEMT) を中心とした超高周波・高出力デバイスの開発が精力的に進められているが、デバイス特性向上には、結晶成長中あるいはデバイスプロセス中で導入される転位や点欠陥の抑制と制御が重要であることが認識されている。これらは、再結合中心あるいはトラップ中心として働き、デバイス特性に大きな影響を及ぼすからである。

本テーマでは、Deep level transient spectroscopy (DLTS) 法及び Minority carrier transient spectroscopy 法を用い、MOCVD 成長 Si ドープ n-GaN の電子・正孔トラップの評価を行った。MOCVD n-GaN 成長基板として、n+-GaN 基板、サファイア基板、SiC 基板、Si 基板の 4 種類を用いた。これら基板上の GaN は、この順で転位密度が高くなると予想される。これら n-GaN にショットキーダイオードを作製し、温度範囲 80  $\sim$  700 K で、DLTS, MCTS 測定を行った。

## 結 果

図 1 に、電子トラップ DLTS 信号を示す。各基板とも、共通に E1、E3 が観測される。サファイア基板では、まれに E2 が観測される試料もある。SiC、Si 基板上 n-GaN では、さらに E6、E7 の電子トラップが観測される。E1、E3 は点欠陥であり、E6、E7 は転位関連欠陥であることを示唆している。

図 2 に、正孔トラップ MCTS 信号を示す。现阶段では、測定の高難しさもあり、測定は GaN 基板とサファイア基板上 n-GaN のみである。3つの正孔トラップ H1、H2、H3 が観測される。300 K 付近の一定温度 MCTS 測定により、H1 トラップは SiC 基板、Si 基板上 n-GaN でも観測されることが確認されている。H1 トラップは炭素関連もしくは Ga 空孔関連欠陥と推測している。

表 1、2 に、観測された電子・正孔トラップのエネルギー準位、捕獲断面積をまとめた。表には、700 K までの高温測定と pn ダイオードを用いて観測されたトラップのパラメータについても示した。合計で 9 個の電子トラップと 5 個の正孔トラップを検出した。

これら 14 個のトラップの中で、電子トラップでは E3 が、正孔トラップでは H1 が濃度の高い主トラップであり、デバイス特性への関与が高いと考えられる。しかしながら、トラップ濃度にはエピ間の差、また同一エピ面でも面内で濃度が分布することがわかってきた。図 3 に、MOCVD n-GaN で、共通に観測されるトラップ E1、E3、H1 の濃度の変動について示した。トラップ E3、H1 では二桁以上の同度変動が見出されている。

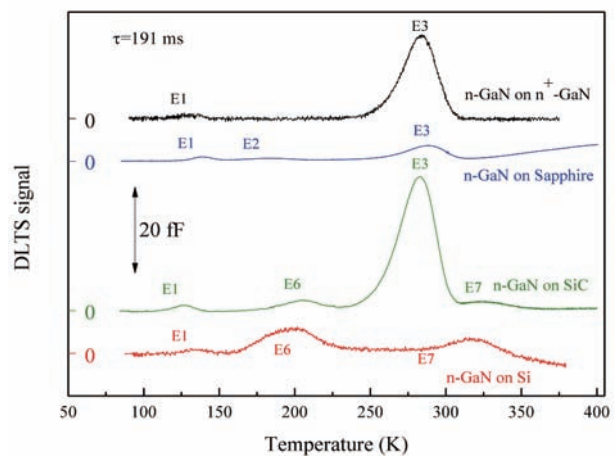


図 1、電子トラップ DLTS 信号

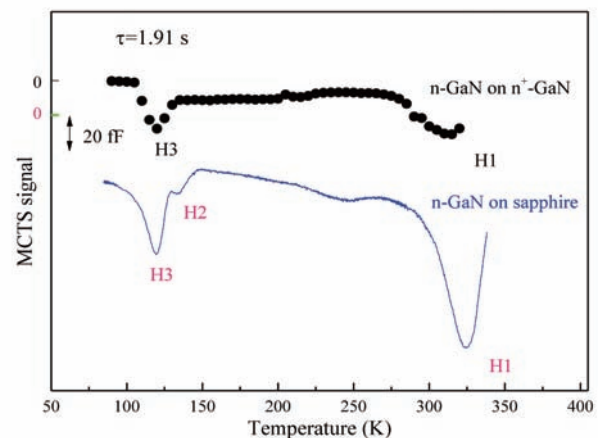


図 2、正孔トラップ MCTS 信号

## 今後の課題

上述の結果を踏まえ、今後以下の課題について取り組むことを考えている。AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> High Electron Mobility Transistor (HEMT) を想定デバイスとし、その開発を念頭に置きながら、トラップの評価、分析を行う。

| Electron trap | Energy level (eV)      | Capture cross section (cm <sup>2</sup> )       |
|---------------|------------------------|--|
| E1            | $E_c - 0.24 \sim 0.26$ | $8.4 \times 10^{-17} \sim 1.4 \times 10^{-15}$ |
| E2            | $E_c - 0.31 \sim 0.32$ | $1.1 \times 10^{-16} \sim 3.6 \times 10^{-16}$ |
| E3            | $E_c - 0.57 \sim 0.61$ | $1.1 \times 10^{-15} \sim 5.3 \times 10^{-15}$ |
| E4            | $E_c - \sim 1$         | $\sim 10^{-13}$                                |
| E5            | $E_c - \sim 1.3$       | $\sim 10^{-14}$                                |
| E6            | $E_c - 0.40$           | $1.4 \times 10^{-15}$                          |
| E7            | $E_c - 0.73$           | $1.4 \times 10^{-14}$                          |
| E8            | $E_c - 0.89$           | $3.9 \times 10^{-16}$                          |
| E9            | $E_c - 1.22$           | $4.3 \times 10^{-14}$                          |

表 1、電子トラップノエネルギー準位、捕獲断面積

### \*トラップオリジンの解明

固有欠陥である Ga、N 空孔あるいはその複空孔、またアンチサイト欠陥などが、共通に観測されるトラップの候補と考えられる。トラップのオリジンを明らかにすることは、トラップの制御に重要である。結晶成長時の V/III 比、成長圧力、成長温度を変化させたときのトラップ濃度の変化が、オリジン解明に有益と考えている。

### \*トラップ濃度のウエハ面内分布の評価と結晶成長パラメータとの関連

従来得られたトラップ濃度の変動は、1cm 角などの狭い領域に限られている。2 インチウエハについて、トラップ濃度の面内分布を評価し、その特徴を分析し、結晶成長条件との関連を明らかにしたい。トラップ濃度の変動が作成デバイス特性の変動に直接関係する可能性があり、均一で高性能なデバイス特性を得る観点から、トラップ濃度のウエハ面内分布の評価は重要である。

### \*炭素、鉄関連トラップ評価

AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT は、AlGa<sub>N</sub> と高抵抗 Ga<sub>N</sub> 層の組み合わせとなり、高抵抗 Ga<sub>N</sub> 層を作成するために、炭素あるいは鉄がドーピングされる。高抵抗 Ga<sub>N</sub> 層は形成されるが、炭素、鉄は同時に深い準位を形成し、HEMT 特性を劣化させる一因ともなると言われている。炭素あるいは鉄ドーピング Ga<sub>N</sub> で、炭素、鉄関連の深い準位の評価を行い、HEMT 特性との関連を明らかにする。

### \*HEMT のトラップ評価

AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT 構造でのトラップ評価を試み、HEMT 電気特性、特に電流コラプスとの関連を明らかにし、高性能 HEMT 作製の指針を与えることを目的とする。基板としては Ga<sub>N</sub>、サファイア、SiC、Si 基板を用い、その上に成長作製した HEMT の評価を行う。HEMT でのトラップ評価は、ダイオードの場合と大きく異なり、困難さが伴うと考えられる。しかしながら、実デバイスで評価することが最終的に求められると考えられ、その評価法の確立とともに、高性能 HEMT の作製が達成されることを目指したい。

| Hole trap | Energy level (eV)      | Capture cross section (cm <sup>2</sup> )       |
|-----------|------------------------|--|
| H1        | $E_v + 0.86 \sim 0.88$ | $7.4 \times 10^{-14} \sim 1.3 \times 10^{-13}$ |
| H2        | $E_v + 0.25$           | $1.7 \times 10^{-17}$                          |
| H3        | $E_v + 0.25$           | $3.4 \times 10^{-16}$                          |
| H4        | $E_v + 1.19$           | $2.3 \times 10^{-15}$                          |
| H5        | $E_v + 1.76$           | $1.2 \times 10^{-12}$                          |

表 2、正孔トラップのエネルギー準位、捕獲断面積

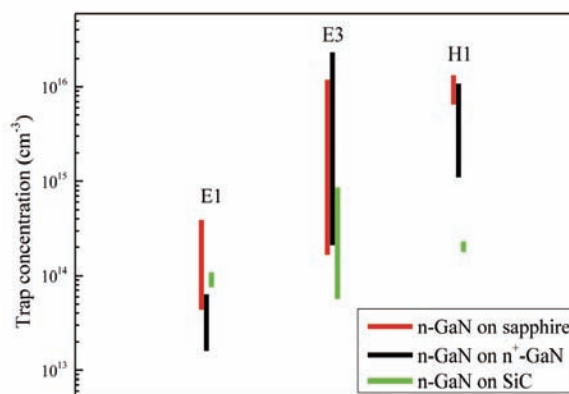


図 3、トラップ濃度の変動