

## 一定容量電圧過渡分光法によるバルク GaAs 結晶中電子トラップの評価

### Evaluation of electron traps in bulk GaAs crystals by Constant-Capacitance Voltage Transient Spectroscopy

池田 幸治<sup>†</sup>、伊藤 明<sup>‡</sup>、徳田 豊<sup>††</sup>

K.Ikeda、 A.Ito、 Y.Tokuda

**Abstract** We have found that the EL5 and EL6 traps in bulk GaAs are consisted of six traps ( A1, A2, A3, A4, A5, A6 ) from Constant-Capacitance Voltage Transient Spectroscopy ( CCVTS ) measurement. In this study, we analyze the EL3 and EL2 traps in bulk GaAs by CCVTS, two traps which corresponds to OX and ELO traps are separated from the wave analysis of EL3 and EL2, respectively. The wafers used in this study are not intentionally doped with Oxygen. We discuss the relationship between concentrations of OX and ELO concentration.

#### 1. はじめに

我々はバルク GaAs 結晶中トラップ EL5、EL6 について評価し、EL5、EL6 が6つのトラップからなり、その内2つのトラップは双安定の関係にあることを示した<sup>1)</sup>。

今回、我々は一定容量電圧過渡分光法 ( Constant - Capacitance Voltage Transient Spectroscopy : CCVTS ) を用いてバルク GaAs 結晶中トラップ EL2 について捕獲パルス幅を変化して測定することで、酸素関連欠陥と報告されており、DLTS において EL2 付近に観測される ELO<sup>2)</sup>について分離・評価した。合わせて、別の酸素関連

欠陥と報告されている OX<sup>3)</sup>について ELO との対応を調べた。

Lagowski 達<sup>4)</sup>より報告された ELO は、DLTS において EL2 の近くで観測されており、ELO ( Ec -0.825 eV ) は EL2 ( Ec -0.815 eV ) とほぼ同じトラップ準位を有し、DLTS により求められた捕獲断面積は EL2 の約4倍であり、EL2 に比べて捕獲は早くなる。トラップ ELO は酸素をドーピングした試料<sup>5)</sup>において観測され、酸素関連欠陥であると報告されている。

酸素関連欠陥は ELO の他に、同研究者により報告されている OX があり、DLTS により EL3 付近で観測されているので、ELO との対応を CCVTS により EL3 を観測することにより調べた。

<sup>†</sup> 愛知工業大学 大学院 学生 (豊田市)

<sup>‡</sup> 鈴鹿工業高等専門学校 (鈴鹿市)

<sup>††</sup> 愛知工業大学 電子工学科 (豊田市)

2. 試料及び実験方法

実験に用いたウェハは、LEC 法、HB 法、PCZ 法の 3 種類のバルク結晶成長法により成長した Si ドープ(100)n 型 GaAs 結晶である。ドーパント濃度は  $9 \times 10^{18} \sim 2 \times 10^{17} (\text{cm}^{-3})$  の範囲であり、意図的に酸素はドーピングされていない。試料は CCVTS 測定を行うために、Au ショットキ電極を、その裏面に Au-Ge/Ni オーミック電極を蒸着して、ショットキダイオードを製作した。この試料を用いて図 1 に示すように、各試料について 90K での C-V 測定によりキャリア濃度を求め、一定温度による CCVTS 測定を行い、方形波重み関数による積分処理を行った CCVTS 信号にフィッティングを行い、その結果からトラップの放出時定数と濃度を得た。EL2 については、捕獲パルス幅を 10ms ~1000s まで変化して一定温度 CCVTS 測定を行い ELO と EL2 を分離した。

し、そのバイアス変化を測定するので高濃度トラップの測定に適している。

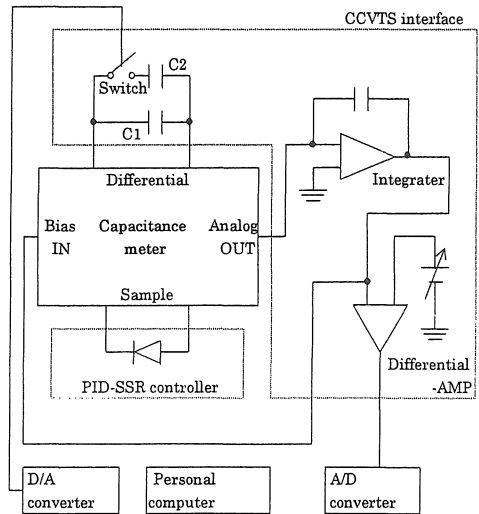


図 2 CCVTS 測定系

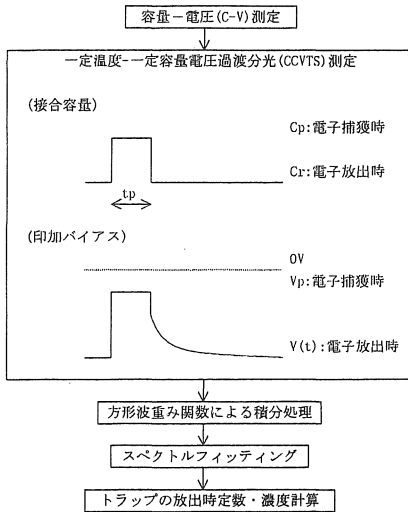


図 1 実験方法及び手順

従来の DLTS 法ではバイアスを印加したときの容量値の変化を測定するので、高濃度トラップにおいては観測領域が測定中に変化してしまい DLTS 測定条件である指数近似ができなくなる。一方、図 2 に示す CCVTS 測定系においては、フィードバック回路により観測領域を固定

3. 実験結果及び検討

図 3 は 290K において捕獲パルス幅を 10ms から 1000s まで 1 オーダずつ増加させた時の低キャリア濃度試料の CCVTS スペクトルである。捕獲パルス幅が短くなるに従って、ピークの時定数は低時定数側へシフトしていき、

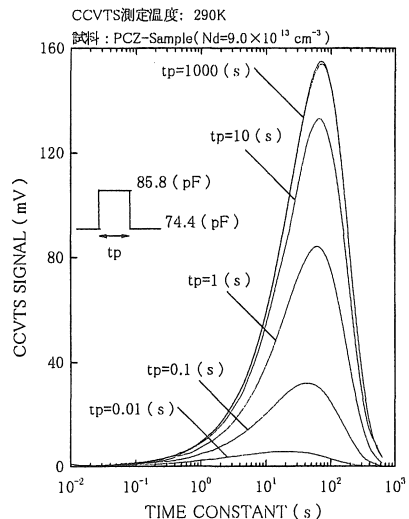


図 3 トラップ EL の CCVTS スペクトル

ブロードになっていることが分かる。これは支配的な EL2 の他に、EL2 に比べて捕獲が早く、時定数が若干早い低濃度のトラップが存在し、電子捕獲時間が短い時の EL2 との比率が変化していくことによる影響と考えられる。

この傾向を念頭におき、各捕獲パルス幅でのフィッティングを行うと、信号は5つのトラップでフィッティングできる(図4)。これは全試料において共通であった。ここで、

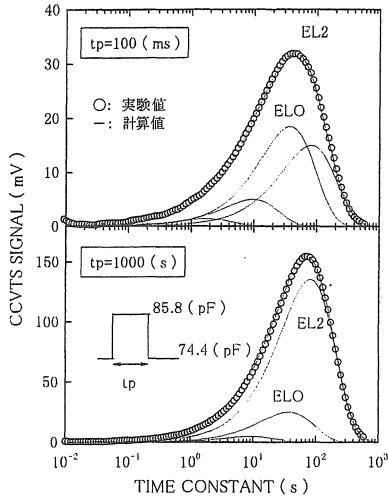


図4 EL2 スペクトルとフィッティング

時定数が約80sのピークはEL2、40sのピークはELOに対応していることがアレニウスプロットの比較から分かった。

キャリア濃度が  $9 \times 10^{13} (\text{cm}^{-3})$  と  $8.5 \times 10^{15} (\text{cm}^{-3})$  の2つの試料について、280Kにおいて捕獲パルス幅を10msから1000sまで変化させた時のCCVTS測定結果から得られたEL2濃度を捕獲のパルス幅に対してプロットしたものを図5に示す。①の低キャリア試料では、捕獲の時定数が、通常観測されるEL2の捕獲時定数より遅くなっており、CCVTS測定系のレスポンス時間1ms以上で、捕獲の実験を行うことが出来る。②の高キャリア試料では①に比べて捕獲の時定数は早くなっている。これはCCVTS測定において、同じようなトラップ準位の捕獲断面積が異なるトラップが分離できることを示している。

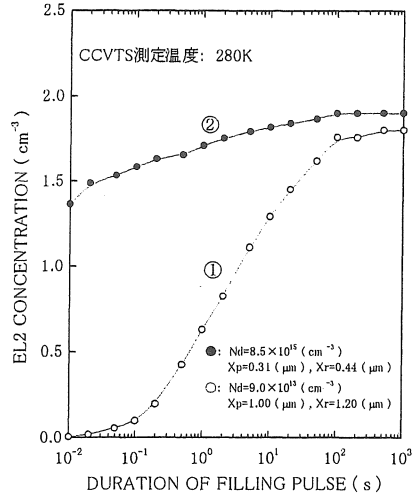


図5 EL2の捕獲パルス幅依存性

観測されたEL2のパルス幅依存性について図6によって検討する。①の低キャリア試料は観測領域が平衡時の空乏層端よりはるかに前となるために中性領域を観測する通常の実験よりも遅い時定数となる。②の高キャリア試料では、観測領域は①のものとは比べて空乏層端  $X_p$  に近く、キャリアの絶対量も大きいので①の捕獲時定数よりも早く

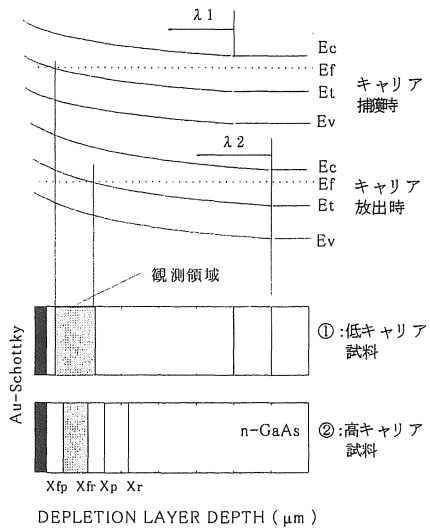


図6 長い捕獲パルス幅で依存を示す実験での観測領域

なりパルス幅に対して変化が緩やかになると考えられる。

これらのことは観測領域を空乏層端よりも前の領域に設定することにより、高濃度トラップの捕獲の実験を電子捕獲・放出の両方において CCVTS 測定を行う、すなわち、一定容量条件下で測定を行うことが出来ることを示している。

酸素関連欠陥 OX について検討するために 220K において CCVTS 測定を行い、その結果に対してフィッティングしたものを図 7 に示す。観測された波形は 4 つのトラップでフィッティングできた。ここで検出されたトラップは全試料において共通であった。ここでは約 10s のピークが報告されている EL3 に対応することがアレニウス・プロットの比較から分かった。

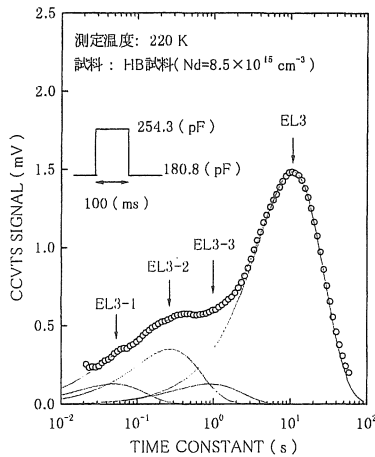


図 7 EL3 付近での CCVTS スペクトルとフィッティング

これらのフィッティングから得られた放出時定数を Lagowski 達が報告した酸素関連トラップとアレニウス・プロットを比較すると(図 8)、我々が観測した ELO は報告されているものと良く一致したが、OX と一致するトラップは無いことが分かる。

次に、CCVTS 測定により導出された EL2、ELO、EL3 の各トラップ濃度をドナー濃度に対してプロットしたものを図 9 に示す。

EL2 はキャリアが  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以下ではおよそ  $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  一定であり、 $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以上ではドナー濃度と共

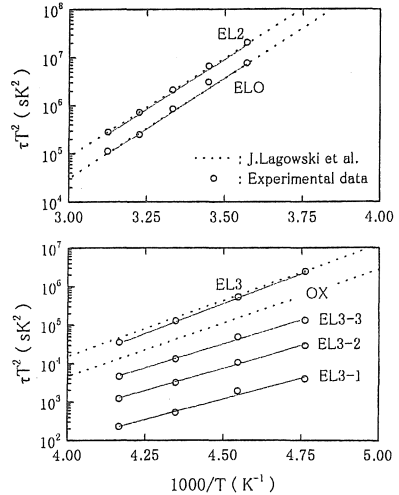


図 8 報告されている酸素関連欠陥とのアレニウスプロットの比較

EL3 についてもキャリア濃度  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以下では、 $3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$  一定であり、 $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以上で EL2 と同様に減少していくことから、両方の欠陥についてドナー型で

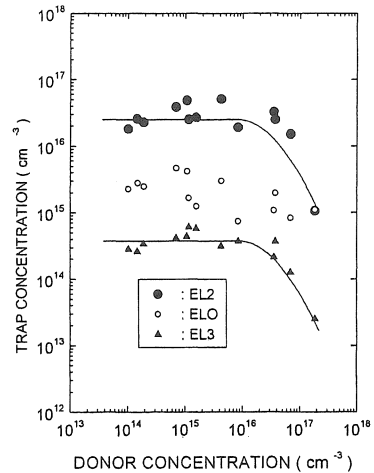


図 9 EL3、ELO、EL2 トラップのドナー濃度依存性

あることを示している。これらのことから、EL3 も EL2 同様ネイティブなトラップである可能性を示している。ELO については、我々が測定した試料中では、外因性で

あるならば考えられ得るドナー濃度に対してトラップ濃度の依存性が無いことは観測できず、 $10^{17}$  ( $\text{cm}^{-3}$ ) までの高キャリアにおいてもトラップ濃度が減少していく様子も観測されなかった。ELO については今回の実験では内因性であるか外因性であるかを判断することは困難である。また、CCVTS により EL3 付近で観測されたトラップ EL3-1、EL3-2、EL3-3 の濃度はドナー濃度に対して EL2 のような依存性は観測されなかった。

EL3 及び CCVTS により EL3 付近で観測されるトラップと ELO とのトラップ濃度の相関関係の有無を確認するために、図 10 に示すプロットを行った。図からは ELO と相関関係のあるトラップは EL3 を含め EL3 付近には存在しないことが分かる。

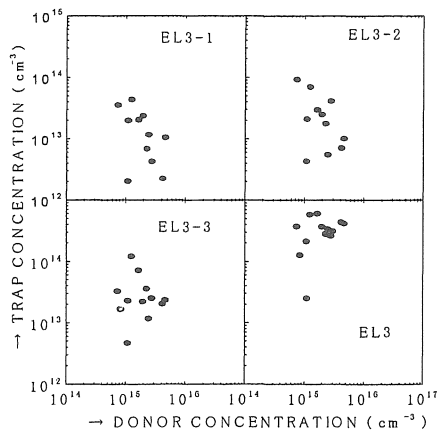


図 10 EL3 付近のトラップと ELO  
トラップとの相関性

#### 4. まとめ

本研究では、通常の中性領域を含む観測領域としたときの捕獲の時定数よりも長くなるように、捕獲時の空乏層端よりも前の領域のみが観測領域となるように CCVTS 測定系により電子捕獲・放出時の接合容量に設定することで、CCVTS 測定系のレスポンス時間 1ms よりも長い捕獲パルス幅で捕獲の実験が CCVTS 法により測定できることを示した。この方法を用いて、捕獲パルス幅を 10ms から

1000s まで変化させることにより、高濃度トラップ EL2kin 近傍のトラップ ELO を分離することができた。

この方法は高濃度トラップの中に埋もれており、トラップ準位がほぼ同じであり、捕獲断面積が異なるトラップの分離・評価に有効であると考えられる。

酸素関連トラップと報告されている ELO 及び OX について、上記のように分離した ELO と EL3 との対応を調べることで検討したが、ELO については外因性であるか内因性であるかを判断することは出来なかった。EL3 についてはドナー濃度依存性から EL2 同様ネイティブなトラップであると考えられる。

EL3 付近に低濃度であるが、ドナー濃度依存性を持たないことから、不純物関連と考えられるようなトラップ EL3-1、EL3-2、EL3-3 を検出できたが、ELO との相関関係は観測されなかった。

#### 謝辞

本研究を行うに当たり、試料提供及び有益な議論を頂いた三菱マテリアル総合研究所・白木 弘幸氏、佐々 紘一氏に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) H. Shiraki, Y. Tokuda, and K. Sassa, : "Electron emission and capture kinetics of a bistable medium-deep center in n-type bulk GaAs", IEEE SIMC-9, pp.299-302, (1996).
- 2) J. Lagowski, D.G. Lin, T. Aoyama, and H.C. Gatos : "Identification of oxygen-related midgap level in GaAs", Appl. Phys. Lett. Vol.40, No.4, pp.336-338, (1982).
- 3) S.T. Neild and M. Skowronski, J. Lagowski : "Signature of gallium-oxygen-gallium defect in GaAs by deep level transient spectroscopy Measurement", Appl. Phys. Lett. Vol.58, No.8, pp.859-861, (1991).

(受理 平成10年 3月20日)