

SEMI M64-0306

赤外線吸収スペクトル法による絶縁(SI)ガリウムヒ素単結晶内の EL2 深いドナー濃度の試験方法

免責事項:この SEMI スタンダードは、投票により作成された英語版が正式なものであり、日本語版は日本の利用者各位の便宜のために作成したものです。万が一英語と日本語とに差異がある場合には英語版記載内容が優先されます。

本試験方法は、global Compound Semiconductor Committee で技術的に承認されている。現版は 2005 年 11 月 29 日、global Audits and Reviews Subcommittee にて発行が承認された。2006 年 1 月に www.semi.org で、そして 2006 年 3 月に CD-ROM で入手可能となる。

1 目的

1.1 本文書の目的は、赤外線吸収法によって SI GaAs 内の深いドナー EL2 の濃度を測定する方法を指定することである。

2 範囲

2.1 本試験方法は、SI GaAs 内の深いドナー EL2 の濃度を測定する手順について記載する。本方法は、試験条件と報告方法の標準化および測定ルーチンキャリブレーションによる測定の精度および繰り返し精度の向上に焦点を当てている。

2.2 本試験方法は、炭素のドーピングによって決まる比抵抗の範囲が $1 \times 10^6 \sim 5 \times 10^8 \Omega\text{cm}$ の SI GaAs サンプルを対象としている。EL2 の濃度は、 $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ より大きくなければならない。

注意: このスタンダードはその使用に関連したすべての安全問題を取り扱うことを意図していない。このスタンダードの使用者は、その責任において、適切な安全および健康上実施すべき事柄を確立し、また使用前に法規制やその他の制限への適用性を判断するものである。

3 参照スタンダードおよび文書

3.1 SEMI スタンダード

SEMI M39 — Test Method for Measuring Resistivity and Hall Coefficient and Determining Hall Mobility in Semi-insulating GaAs Single Crystals

3.2 DIN Standards¹

DIN 50448 — Testing of materials for semiconductor technology – Contactless determination of the electrical resistivity of semi-insulating semiconductor slices using a capacitive probe

注意: 別途指示のない場合、引用されたすべての文書は最新の出版バージョンである。

4 用語

4.1 定義

4.1.1 透過率(transmittance) — 特定の波長での入射光の強度に対する透過光の強度の比。

4.1.2 反射率(reflectance) — 特定の波長での入射光の強度に対する反射光の強度の比。

4.1.3 イオン化度(ionization degree) — EL2 欠陥の総数に対する正の 1 価電荷の濃度の比。

¹ Deutsches Institut für Normung e.V., 次より入手可能。Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstrasse 4-10, D-10787 Berlin, Germany, Website: www.din.de

5 EL2 の特性

5.1 ヒ素の過剰圧力下で成長した SI GaAs 結晶には、ダブルドナー-EL2 が含まれている。EL2 は、As アンチサイト原子からなる真性点欠陥である。管理された量の浅い補償アクセプタ(通常は炭素, C_{As})を添加することによって、フェルミ準位は EL2 の第 1 電子準位に留まる。300K では、この準位は伝導帯の 0.69eV 下である。

5.2 結晶成長パラメータの変化および成長した結晶の熱処理によって、EL2 欠陥の濃度は $5 \times 10^{15} \sim 3 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ の範囲で管理できる。SI GaAs を得るには、浅いアクセプタと浅いドナー(存在する場合)の完全イオン化および EL2 の部分的 1 価イオン化を達成しなければならず、次の条件が必要である。

$$0 < c_A - c_D < c_{EL2} \quad (1)$$

ここで、 c_A , c_D , c_{EL2} は、それぞれ浅いアクセプタ、浅いドナー、EL2 の濃度である。

5.3 c_{EL2} の決定は、EL2 の第 1 準位から伝導帯(CB)および価電子帯(VB)への電子の遷移による近赤外線(NIR)吸収を測定することによって実行される。室温ではこれらの遷移によって、約 1700 nm から始まり短波長の方方向に強度が増していく広い吸収帯が作られる。

5.4 EL2 の不完全イオン化には、NIR の吸収に寄与する点が 2 つある。

- (i) 占有準位から CB への電子の遷移
- (ii) 非占有準位から VB へのホールの遷移

5.5 両方の遷移の寄与は、EL2 欠陥のイオン化度 f_i に依存する。 f_i は、電子濃度 n と次のような関係がある。

$$f_i = \left[1 + \frac{n}{2N_{CB}} \exp\left(\frac{E_{EL2}}{k_B T}\right) \right]^{-1} \quad (2)$$

ここで、 N_{CB} は CB 状態の有効濃度 (300K で $4.21 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$)、 E_{EL2} は EL2 の第 1 準位から CB への電子の遷移の活性化エネルギー(300K で 0.69eV)、 k_B はボルツマン定数、 T は温度である。SEMI M39 または DIN 50448 に従って n を測定することにより、イオン化度 f_i を決定できる。

5.6 波長 λ における NIR 吸収係数 α_{EL2} は、次の式で与えられる。

$$\alpha_{EL2}(\lambda) = c_{EL2} [(1-f_i) \cdot \sigma_n(\lambda) + f_i \cdot \sigma_p(\lambda)] \quad (3)$$

ここで、 σ_n と σ_p は、それぞれ CB への電子の遷移および VB へのホールの遷移の光学吸収断面積である。波長、 $\lambda=1000\text{nm}$ では、このスタンダードで使用する断面積の値は、 $\sigma_n=1.29 \times 10^{-16} \text{cm}^2$ および $\sigma_p=0.35 \times 10^{-16} \text{cm}^2$ である。詳細については、13.1 項～13.3 項を参照すること。

5.7 濃度 c_{EL2} は、式(2)と(3)の助けを借りて計算する。

$$c_{EL2} = \alpha_{EL2} \frac{1 + xn}{xn \cdot \sigma_n + \sigma_p} \quad (4)$$

ここで、

$$x = \frac{1}{2N_{CB}} \times \exp\left(\frac{E_{EL2}}{k_B T}\right) \quad (5)$$

5.8 イオン化度が低い場合 ($f_i \ll 1$ または $xn \gg 1$)、式(4)は単純化できる。

$$c_{EL2} \approx \frac{\alpha_{EL2}}{\sigma_n} \quad (6)$$

6 障害要因

- 6.1 電子濃度 n — これは、サンプルの温度に大きく依存する(室温近傍では、変化は 1°C あたり約 10%)。従って、式(2)では、NIR 吸収測定中のサンプルの温度を使用しなければならない。
- 6.2 光学吸収断面積 σ_n および σ_p — σ_p の正しい値については文献中でいくつかの議論がある([13.4]と[13.5])。この値に誤差があると、EL2 濃度が偏り、イオン化度が大きくなるとますます重要になる。
- 6.3 内部多重反射 — サンプルの面で内部多重反射が起こると、透過率の測定値の誤差となる。測定 NIR 光のコヒーレンス長がサンプルの厚さと比較して短ければ、この影響は避けられる。提案する 40nm のスペクトル幅によって、コヒーレンス長は約 $25\mu\text{m}$ に制限される。
- 注 1: レーザ光は、明らかにこの目的には適切ではない。
- 6.4 外部反射 — サンプル表面での反射光が検出器へ直接あるいは間接的に入射しないように、光学軸に対するサンプル表面の傾斜は慎重に選択しなければならない。
- 6.5 ビーム陰影 — サンプルの透過率決定の精度に悪影響を及ぼすことがある。特に、サンプルの面積は、サンプルに衝突するビームより大きくなければならない。
- 6.6 散乱光 — NIR 光源または室内の他の光源からの散乱光は、検出器に入るとサンプルの透過率測定値の偏りになることがある。装置を適切に遮蔽して散乱光を阻止する必要がある。

7 装置

- 7.1 NIR 光源 — 電力が(通常は)100W の広帯域石英ハロゲンランプ。
- 7.2 光学イメージングシステム — 光源とサンプルの間に平行な光ビームおよび検出器にイメージを生成するためのレンズシステム。
- 7.3 NIR 検出器 — 高い線形性と均質性を有する、シリコン、ゲルマニウムあるいは InGaAs 製の光ダイオード。検出器の面積は、測定光を完全に収集する十分な大きさを有していなければならない。オプション: 1 次元または 2 次元の EL2 分布を同時に測定するためのアレイ検出器またはマトリクス検出器。
- 7.4 サンプルホルダー — 光学軸とサンプル表面の間の角度を $2\sim 5$ 度に保持できること。オプション: スキャンをおこなうために光学軸に対して直交する 2 つの方向に移動できる平行移動ステージ。
- 7.5 1000-nm 光バンドパスフィルタ — NIR 光の波長幅 $980\text{nm} < \lambda < 1020\text{nm}$ を選択するために使用する。光源とサンプルの間に配置しなければならない。
- 7.6 アパーチャストップ(開口絞り) — オプション。空間分解能を向上させるために使用する。サンプルの前に配置しなければならない。
- 7.7 長波長(1800~2000nm)バンドパスフィルタ — オプション。手順 A に従って装置をキャリブレーションするために使用する。フィルタは、測定光用の 1000 nm フィルタと交換可能でなければならない。
- 7.8 キャリブレーション済みのグレイフィルタ — オプション。手順 B に従って装置をキャリブレーションするために使用する。フィルタは、波長 1000nm の波長で $0.45\sim 0.55$ の範囲のキャリブレーション済みの透過率 τ_G を有していなければならない。 τ_G は、 ± 0.005 以内の精度で既知の値でなければならない。
- 7.9 SI GaAs 基準サンプル — オプション。手順 C に従って装置をキャリブレーションするために使用する。基準サンプルは、測定されるサンプルと同じ厚さ(最大偏差 2%)および同じ光学的表面品質を有していなければならない。EL2 の濃度は、 $1.0\sim 1.5 \times 10^{16}\text{cm}^{-3}$ の範囲でなければならない。波長 1000nm における透過率 τ_R は、 ± 0.005 以内の精度で既知の値でなければならない。