

## SEMI M19-91

### バルク・ガリウムヒ素単結晶基板の電氣的性質(仕様)

**NOTICE:** This translation is a REFERENCE COPY ONLY. If differences should exist between the English version and a translation in any other language, the English version is the official and authoritative version.

**免責事項:** この SEMI スタンドアードは、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。

SEMI スタンドアード日本語翻訳版をご利用にあたっての注釈を本文の末尾に記載しております(「すべきである」「しなければならない」について等)。

#### 1 序文

仕様として、3つの主なタイプに分けられる。すなわち、半絶縁性、*n*型及び*p*型である。これはガリウムヒ素(GaAs)の導電率の全範囲を含んでいる。

第3項では、必要とする導電率タイプを製造するためのドーパントの種類を規定し、更に細分化した検討を行っている。半絶縁性材料に対しては、特殊なケースとして分けて考えられてきた。

アンドープグレード A1 とは、付加的なアニールやプロセスを必要とせずに成長後に高抵抗で安定した材料を表す。“高純度”なグレード A2 材料とは、抵抗率を  $10^7 \Omega\text{-cm}$  以上のレベルにするために、成長後の追加の熱処理を必要とする。このとき、大部分のグレード A2 インゴットは、適切な温度サイクルの後に抵抗率特性が許容し得る範囲にまで高められるということを示してきた。しかしながら、この現象は時間-温度サイクルの詳細事項に対して敏感であるので、そのような抵抗率の増大は全ての応用例について保証することはできない。それ故、ラベル“グレード A2”がこの材料を表すのに使用される。

クロミウムをドーブすると高抵抗の材料が得られる。しかし、プロセス中にクロムが素早く拡散することや表面に蓄積する傾向があるため、グレード 3.A.1 や 3.A.2 程にはプロセスによく適合しない。したがって、この材料を“グレード A”とする。

等価ドーパントの添加は抵抗率に著しく影響を及ぼさないように思われ、むしろ、最終製品の転位の発生を低下させる。それ故、この材料はグレード A に分類される。一方 In は最も効果的な硬化材料であり、Al、P 及び Sb も又効果的なドーパント種である。それらを全て掲載し、後にドキュメントを改訂する必要性が起らないようにした。

グレード B 仕様は、不純物及びポイント欠陥密度が適切なバランスを完全には保っていないが、抵抗率があまり厳しく指定されない用途に適する材料を包含している。

導電性材料に対しては、特性が最も良く判っている非遷移金属 *n* 型ドーパントとして用いられてきた。*p* 型ドーパントとしては、幅広い範囲のドーパント種が用いられてきた。そして、遷移金属は有用なアクセプター不純物である。

第4項では、3項で規定されたような半絶縁性材料の抵抗率及び安定性を定義している。アニーリングによって低抵抗材料に変換してしまう可能性を最小にするために、グレード A2 材料にはきびしい制限が設けられた。クロムがドーブされた材料における表面変性の問題は、アニーリング後の *n* 型特性に対して言及しないことにより処理された。

*n* 型導電材料に対する抵抗率範囲は、Walukiewicz *et al.*, J. Appl. Phys. 50 (1979) 899 の解析を用いて、キャリア濃度表(5項)及び移動度値から決定されてきた。これは、許容される不純物補償比に制約を与え、大体 0.0 から 0.7 の範囲に選択される。この仕様は異常に粗悪な結晶は除外するように考えられている。*p* 型材料に対してはデータ及び要求が限られているので、本書においては特に仕様を定めない。もし、十分な量のデータができてきた場合には、仕様が適切に作成されバロットにかけられるであろう。

第5項は、不純物濃度、すなわちネット電子収率、及び点欠陥濃度を扱っている。高品質の半絶縁性材料に対しては、不純物は現時点では信頼性のある程には測定できていない(カーボンは顕著な例外である)。したがって、「無指定」名称になっている。タイプ A-3 及び A-4 については、関連不純物の量の決定が、適切なグループすなわちユーザやサプライヤそれぞれにゆだねられている。

$n$  型材料に対しては、レンジは次のように定義されている。高純度領域 ( $n \leq 4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ )、ドナー密度が典型的なディープレベルの密度の 10 倍以上にはならない中間領域、ディープレベルが抑えられた遷移領域 (レンジ B-3)、高ドーピング領域 (ネット電子濃度の収率 10 ppm 以上)、結晶成長プロセス及び熱力学が不純物の取り込みと電子収率の限界を決める。飽和ドーピング領域である。第 6 項においては、電子移動度の値及びレンジについて述べられている。半絶縁性材料に対しては、コンセンサスにより決められてきた値グレード A1 に対しては  $5000 \text{ cm}^2/\text{V-s}$  及び  $6000 \text{ cm}^2/\text{V-s}$  である。

お互いに調和できるように及びそれについての討論が低調になるのを防止するために、本文項の作成者、SEMI ミーティング参加者、及びサプライヤからの応答はこの値を  $5000 \text{ cm}^2/\text{V-s}$  に設定するようにしてきた。

グレード A-2 材料は殆ど常に  $6000 \text{ cm}^2/\text{V-s}$  を超えていることをサプライヤが示しているので、この値が採用されてきた。クロムドープ材料については、移動度が予測し難いので、ユーザとサプライヤ間の交渉に任される。In ドープ材料は、ひずみ効果、散乱及び他の関連現象で一貫して低い移動度なので、サプライヤの経験に基づいて、最小値が  $3500 \text{ cm}^2/\text{V-s}$  に設定された。

$n$  型材料については、移動度のレンジは与えられたネット電子濃度に対して、不純物補償比が約 0.0–0.7 の範囲のものを表すように決められた。 $p$  型材料は仕様を保証するのに十分な程には未だ特性が付与されていない。

## 2 範囲

本ドキュメントは、バルク・ガリウムヒ素結晶及び基板ウェーハに関する特性及び電気的特性範囲を規定するものである。高抵抗及び  $n$  型導電材料については許容成長条件又は不純物の種類が述べられている。限られた理解度、経験、及び要求しかないので、 $p$  型材料についてはガイドラインのみが現時点では提供される。

## 3 導電性のタイプ

- (A) 半絶縁性,  $n$  型
- (B) 導電性,  $n$  型
- (C) 導電性,  $p$  型

## 4 ドーパントの種類

- (A) 1. ドープされない : グレード A1
- 2. ドープされない : グレード A2
- 3. クロミウム : グレード A
- 4. 等電子不純物 : グレード A サプライヤにより指定されるドーパント: In, Al, P, Sb
- 5. ドープされない : グレード B
- (B) ユーザにより指定されるドーパント: Si, S, Se, Te, Sn
- (C) ユーザにより指定されるドーパント: Zn, Cd, Be, Mn, Fe, Co, Mg

注: グレードの定義については 4 項及び 5 項参照。

## 5 300K における抵抗率

### (A) 半絶縁性, $n$ 型\*

- 1.  $\geq 1 \times 10^7 \Omega\text{-cm}$  アニール前後で  $n$  タイプ。
  - 2.  $\geq 5 \times 10^6 \Omega\text{-cm}$  (アニールした後に  $\geq 1 \times 10^7 \Omega\text{-cm}$  から) アニール前後で  $n$  タイプ。
  - 3.  $\geq 1 \times 10^7 \Omega\text{-cm}$  アニール前で  $n$  タイプ。
  - 4.  $\geq 1 \times 10^7 \Omega\text{-cm}$  アニール前で  $n$  タイプ。
  - 5.  $\geq 1 \times 10^6 \Omega\text{-cm}$  アニール前後で  $n$  タイプ。
- $1 \times 10^7 \Omega\text{-cm} = 1.6 \times 10^8 \Omega/\pi$ ;  $5 \times 10^6 \Omega\text{-cm} = 8 \times 10^7 \Omega/\pi$ ;  
 $*1 \times 10^6 \Omega\text{-cm} = 1.6 \times 10^7 \Omega/\pi$  (厚み 625  $\mu\text{m}$  のウェーハにおいて)

### (B) 導電性, $n$ 型

- 1.  $\geq 0.026 \Omega\text{-cm}$  ( $n = 4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ;  $\mu = 6000 \text{ cm}^2/\text{V-s}$ )
- 2.  $\leq 0.06 \Omega\text{-cm}$
- 3.  $\leq 0.042 \Omega\text{-cm}$
- 4.  $\leq 0.012 \Omega\text{-cm}$