

## 技術報告

### イオンスパッタリングが AlGaAs, InGaAs 試料表面に与える影響について 電子材料グループ活動の進捗報告

荻原 俊弥・野々上 寛\*

(株) ジャパンエナジー分析センター 〒335 埼玉県戸田市新曽南 3-17-35

\*三洋電機 (株) ニューマテリアル研究所 〒573 大阪府枚方市走谷 1-18-13

電子材料グループでは、Si, SiO<sub>2</sub>, SiN, GaAs, InGaAs, AlGaAs の 6 種類を第 1 回測定試料として選択し、取得した AES, XPS スペクトルの相互比較を行ってきた。その後、各試料について測定上の問題点をより明確にし、その解決方法をさぐるために、シリコン系 (Si, SiO<sub>2</sub>, SiN) と化合物半導体系 (GaAs, InGaAs, AlGaAs) とに別れて詳細に検討を行うことにした。化合物半導体系では試料を InGaAs, AlGaAs にしぼり、イオンスパッタリング前後のピーク強度比を比較することで、試料表面が受ける影響を調べた。その結果、AES, XPS とともに 1~5 kV のイオン加速電圧ではスパッタリング前後でピーク強度比の変化はほとんど見られなかった。

#### 参加機関 (括弧内は機関略号)

##### AES

松下テクノロジーサーチ (AN),  
NTT 境界領域研究所 (AT),  
三菱化学横浜総合研究所 (DV),  
ジャパンエナジー分析センター (AU),  
以上 4 機関。

##### XPS

松下テクノロジーサーチ (AN),  
リコー研究開発本部 (BY),  
三洋電機研究開発本部 (DD),  
ジャパンエナジー分析センター (AU),  
以上 4 機関。

#### 測定手順について

手順書を作成し、これに基づき検討を行った。  
以下に配布した手順書を示す。

..... 手順書 .....

#### 目的

イオンスパッタリングにより化合物半導体系試料 (InGaAs, AlGaAs) の表面が受ける影響を、ピーク強度比を調べることにより考察する。

#### 実験の手順

- (1) 装置をメーカー推奨の方法でこう正する。
- (2) イオン加速電圧を 1 kV に調整し、SiO<sub>2</sub>/Si でスパッタリングレートを求める。
- (3) 標準試料: Cu (各機関所有のもの) の積分スペクトル (ワイド, ナロー) を測定する (イオン加速電圧: 1 kV でクリーニングした表面)。お互いのスペクトルが比較できるように、Cu の測定を行い

装置特性を明らかにする。

- (4) 化合物の As Received の積分スペクトル (ワイド, ナロー) を測定する。
- (5) 指定の深さ (10nm) までイオンスパッタリングを行う。
- (6) イオンスパッタリング後の表面の積分スペクトル (ワイド, ナロー) を測定する。
- (7) 指定の深さ (50nm) までイオンスパッタリングを行う。
- (8) イオンスパッタリング後の表面の積分スペクトル (ワイド, ナロー) を測定する。
- (9) 次のイオン加速電圧の調整を行う。  
SiO<sub>2</sub>/Si を用いてスパッタリングレートを求める。
- (10) (4) ~ (9) を繰り返す。  
すべてのイオン加速電圧について終了したら (11) へ
- (11) 積分スペクトルから微分スペクトルを求める (AES の場合)。
- (12) ピーク強度を読み取る。  
XPS: 面積, ピーク高さ (バックグラウンド: 直線)  
AES: 微分ピーク (ピーク top と bottom の差)
- (13) スペクトルをプリントアウトする (XPS: 積分, AES: 積分・微分の両方)。  
(11) ~ (13) は COMPRO による処理を原則とするが、問題がある場合は他の方法でもよい。
- (14) データの提出  
スペクトルのプリントアウト, ピーク強度データ, COMPRO へ変換した NPL ファイル (FD で) を提出する。

COMPROの変換等が困難な場合は  
プリントアウト、ピーク強度データ  
を提出して下さい(データファイル  
は各自保管)。

イオンビーム:ラスタービームを用いる。  
XPSでは分析エリアが広い為、スパッタ  
リング面積も広くする必要があります。  
3 x 3 mm程度は必要と考えますが、こ  
のあたりは各機関に一任いたします。

## 担 当

### (1) AES

原則としてすべての機関がイオン加速  
電圧: 1, 3, 5 kVで実験を行う。  
スペクトル測定: As Received, 10nm,  
50nm (3条件)したがって、AESでは  
提出していただくスペクトルは合計3  
6本です。

### (2) XPS

|         |         |      |
|---------|---------|------|
| イオン加速電圧 | Al mono | Mg   |
| 1, 3 kV | 松下テクノ   |      |
| 3, 4 kV | リコー     |      |
| 3, 5 kV | J・エナジー  | 三洋電機 |

イオン加速電圧: 2条件  
スペクトル測定: As Received,  
10nm, 50nm  
(3条件)したがって、XPSでは提出し  
ていただくスペクトルは合計34本です。  
イオン加速電圧は2条件となっていま  
すが、余力のある機関は加速電圧の追加  
等実験を加えていただいても結構です。

## 試料について

### (1) AlGaAs

MBE法により、none doped GaAs 基板  
上にGaAsバッファ層を200nm積層した  
後AlGaAsを500nm積層した単層膜である。  
AlGaAs中にはSiが $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$   
ドーピングされている。AlGaAsの組成は、  
Al<sub>0.24</sub>Ga<sub>0.76</sub>Asである。

### (2) InGaAs

MOCVD法により、S doped InP 基板上  
にS doped InPバッファ層を50nm積層  
した後S doped InGaAsを積層した単層膜で  
ある。InGaAs中のSは $1.8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$   
であり、InGaAsの組成は、In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Asで  
ある。

## イオンスパッタリング条件

イオン種: アルゴン  
イオン加速電圧: 1, 3, 5 kV  
各加速電圧におけるスパッタリングレ  
ートの目安

|      |       |                |
|------|-------|----------------|
| 1 kV | ..... | 1 ~ 2 nm/min   |
| 3 kV | ..... | 10 ~ 15 nm/min |
| 5 kV | ..... | 30 ~ 40 nm/min |

イオン入射角度: 電子線の入射角度を優  
先する(測定条件を参照)。その際、機  
械的に設定される条件とする。

## 試料固定方法

試料ホルダーに押さえ板を用いてネジに  
より固定する。または、バネ止め用試料  
ホルダーに固定する。

## ピーク強度の算出方法

XPS: バックグラウンドを直線法で引き、  
ピーク面積およびピークトップ位  
置のカウンタを読み取る。  
AES: 積分ピークを一次微分し(5~7  
点: 1回)、微分ピークのトップ  
とボトムの違いを読み取る。

## 化合物半導体試料のAES測定条件

電子線加速電圧: 5kV  
電流: 一任  
(パルスカウンタ, V/F, BBMなど  
方法によって電流値は変わって  
くると思われます。スペクトルが相  
対的に比較できる、通常よく用い  
ている値で測定してください)。  
入射角: 試料法線から45度(日本電  
子) 試料法線と分光器との角度、  
45度(アルバックファイ)  
測定ステップ: 1eV/step (ワイド),  
0.1eV/step (ナロー)  
測定エリア: 50 μm 角程度  
(デフォーカスも可能)

## 測定範囲

### InGaAs

ワイドスペクトル: 0~2000 eV  
ナロースペクトル: 20~160 eV  
" : 370~450 eV  
" : 800~1320 eV

### AlGaAs

ワイドスペクトル: 0~2000 eV  
ナロースペクトル: 20~160 eV  
" : 800~1320 eV  
ナロースペクトル: 1300~1450 eV

S/N: ピーク強度の決定に影響を及ぼさ  
ないS/N比を有すること。

## 化合物半導体試料のXPS測定条件

X線源: 担当の部分を参照  
エネルギーステップ: 1eV/step (ワイド),  
0.1eV/step (ナロー)  
電子中和銃: 使用しない。  
パスエネルギー: 20 eV 前後

分析面積：1 mm φ程度  
 take off angle：45度  
 測定範囲  
 ワイドスペクトル：0～1400 eV  
 (Mgは1200 eV)  
 ナロースペクトル  
 Ga 2p：1100～1170 eV  
 Ga 3d：10～30 eV  
 As 3d：30～50 eV  
 Al 2p：66～82 eV  
 (AlGaAs 試料の場合)  
 In 3d：438～458 eV  
 (InGaAs 試料の場合)  
 また、表面 (As Received) は  
 C 1s：280～300 eV  
 O 1s：525～545 eV  
 を測定する。

標準試料 (Cu) の AES 測定条件

電子線加速電圧：5kV  
 電流：一任  
 (パルスカウンタ, V/F, BBM など  
 方法によって電流値は変わってく  
 ると思います。スペクトルが相対  
 的に比較できる, 通常よく用いて  
 いる値で測定してください)。  
 入射角：試料法線と分光器との角度  
 45度  
 測定ステップ：2eV/step 以下 (ワイド),  
 0.1eV/step (ナロー)  
 測定エリア：50 μm 角程度  
 (デフォーカスも可能)  
 測定範囲  
 ワイドスペクトル  
 Cu, Au, Ag 共通 0～2400 eV  
 ナロースペクトル  
 Cu LVV 50～85 eV  
 Cu MNN 900～930 eV  
 参考のため Au, Ag についても示す  
 (余力のある機関)。  
 Au NVV 50～85 eV  
 Au NVV 200～300 eV  
 Au MNN 1995～2050 eV  
 Ag MNN 335～365 eV  
 S/N:ピーク強度の決定に影響を及ぼさな  
 い S/N 比を有すること。  
 参考文献 JSA Vol.1, No.3, 419 (1995).

標準試料 (Cu) の XPS 測定条件

X線源:InGaAs,AlGaAs 測定時と同じもの  
 エネルギーステップ:1.0eV (ワイド),  
 0.1eV (ナロー)  
 測定ピーク:Cu 2p3/2, Cu LMM, Cu 3p3/2,  
 余力のある機関のために

(Au 4f7/2, Ag 3d5/2, Ag MNN)  
 分析面積：1 mm φ程度  
 エネルギー範囲  
 ワイドスペクトル：0～1400 eV  
 (Mgは1200 eV)  
 ナロースペクトル  
 Cu 2p3/2：920～950 eV  
 Cu LMM：320～350 eV (Mg)  
 555～585 eV (Al)  
 Cu 3p3/2：60～90 eV  
 参考  
 Au 4f7/2：70～100 eV  
 Ag 3d5/2：355～385 eV  
 Ag MNN：880～910 eV (Mg)  
 1115～1145 eV (Al)  
 パスエネルギー：20～30 eV程度  
 (InGaAs,AlGaAs 測定時と同じもの)  
 S/N:ピーク位置の決定に影響を及ぼさな  
 い S/N 比を有すること。  
 参考文献 JSA Vol.1, No.2, 278 (1995).

ファイル名の付け方

- (1) 化合物試料  
 XPS...X%\$\$\$nn  
 AES...A%\$\$\$nn  
 %%:機関略号,  
 \$\$\$:試料名 (SiO2=EAB, SiN=EAC,  
 InGaAs=EAE, AlGaAs= EAF)  
 nn:ファイル番号, 30からスタート,  
 以後 31, 32, .....
- (2) 標準試料  
 XPS  
 X%%C64nn (Cu), X%%G64nn (Au),  
 X%%S64nn (Ag)  
 AES  
 A%%C64nn (Cu), A%%G64nn (Au),  
 A%%S64nn (Ag)  
 X,A: XPS, AES の識別,  
 %%:機関略号,  
 C,G,S: 試料識別記号 (C=銅,  
 G=金, S=銀),  
 64: 1996年4月の6と4,  
 nn:ファイル番号, 01, 02, 03, ..

AES の結果

1. AlGaAs について

(1) AlGaAs のオージェスペクトル  
 As Received および 10nm スパッタリング  
 した表面のオージェスペクトルを Figs.1, 2  
 に示す。各機関のワイドスペクトルを比較  
 すると、バックグラウンドの形が異なってい

る。また、Al KLLのピークは非常に小さい。Al KLLのピークは(2)でナロースペクトルを比較する。

ーク強度比に与える影響は大きい。

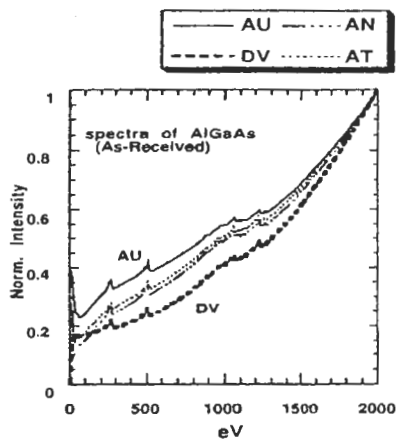


Fig.1 AlGaAsのオージェスペクトル (As Received)

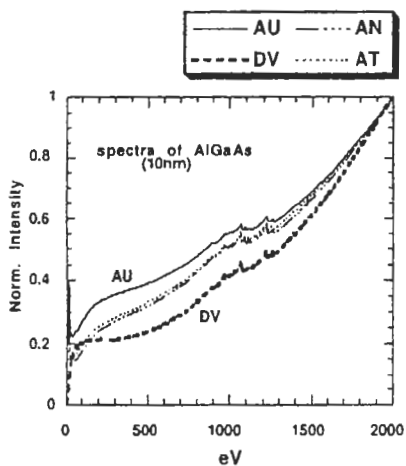


Fig.2 AlGaAsのオージェスペクトル (スパッタリング 10nm)

(2) Al KLL オージェスペクトル

Al KLL オージェスペクトルを Fig.3-1 に示す。4機関のスペクトルはいずれも Al KLL ピークが小さく S/N が極めて悪い。したがって、読み取り誤差が大きくなり、ピ

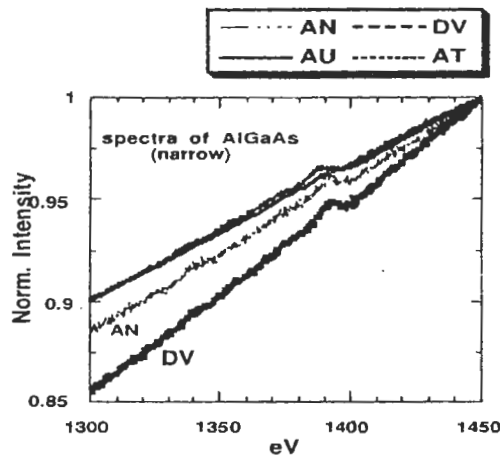


Fig.3-1 Al KLL のオージェスペクトル

Fig.3-1 の積分スペクトルからピーク強度を求めるために、25点一次微分処理を行った。Fig.3-2 は 25点一次微分したものである。Al KLL のピーク強度は非常に弱く、正確なピーク強度を求めにくいことがわかる。

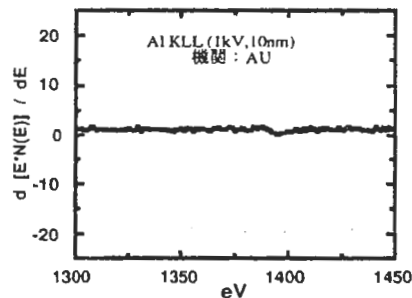


Fig.3-2 Al KLL のオージェスペクトル

(3) ピーク強度比のスパッタ深さ依存性

Fig.4 にピーク強度比とスパッタ深さの関係についての代表的な図を示す。10nm, 60nm (規定は 50nm だが、60nm スパッ

タリングした)のピーク強度比はほぼ等しい。  
他の機関も同様であった。

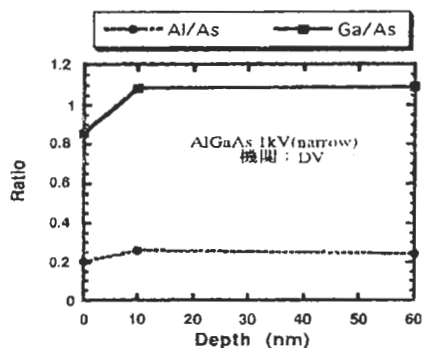


Fig.4 ピーク強度比のスパッタ深さ依存性

(4) ピーク強度比のイオン加速電圧依存性

Ga/As 比が増加の傾向にある機関 (Fig.5-1,5-2) と減少の傾向が見られる機関 (Fig.5-3,5-4) があった。しかし、その変化は小さく、イオン加速電圧の影響かどうかは明確ではない。

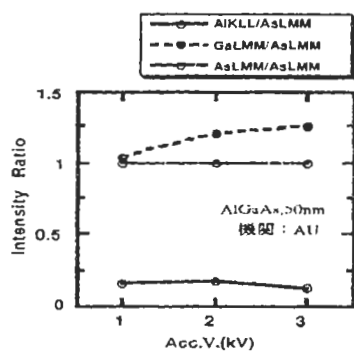


Fig.5-1 ピーク強度比のイオン加速電圧依存性

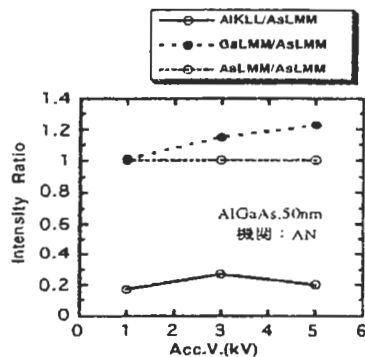


Fig.5-2 ピーク強度比のイオン加速電圧依存性

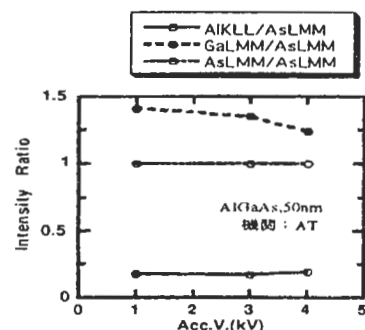


Fig.5-3 ピーク強度比のイオン加速電圧依存性

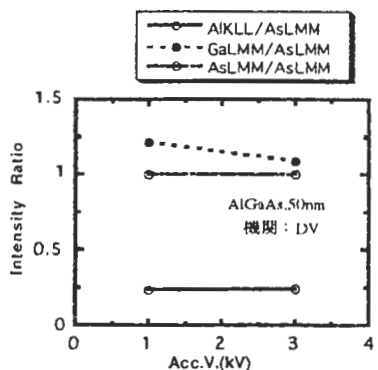


Fig.5-4 ピーク強度比のイオン加速電圧依存性

2. InGaAsについて

(1) InGaAsのオージェスペクトル

As Received および 10nm スパッタリングした表面のオージェスペクトルを Figs.6, 7 に示す。AlGaAsと同様に、バックグラウンドの形に違いが見られる。また、In MNN は感度よく検出されている。

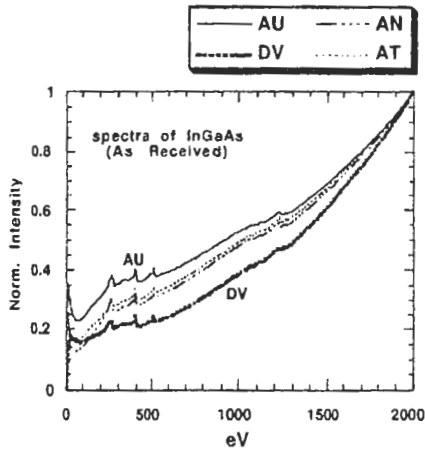


Fig.6 InGaAsのオージェスペクトル (As Received)

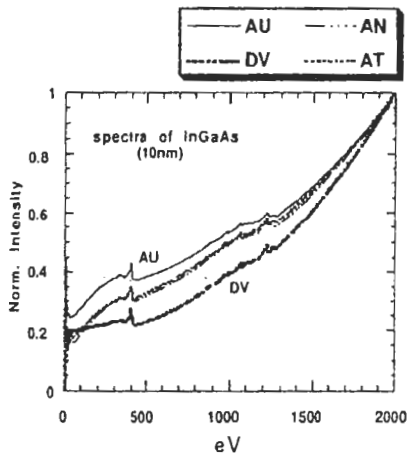


Fig.7 InGaAsのオージェスペクトル (スパッタリング 10nm)

(2) In MNN オージェスペクトル

In MNN オージェスペクトルを Fig.8 に示す。ツインピークが明瞭に検出されている。しかし、その強度比や主ピークに対する非弾性散乱ピークの割合などに違いが見られる。

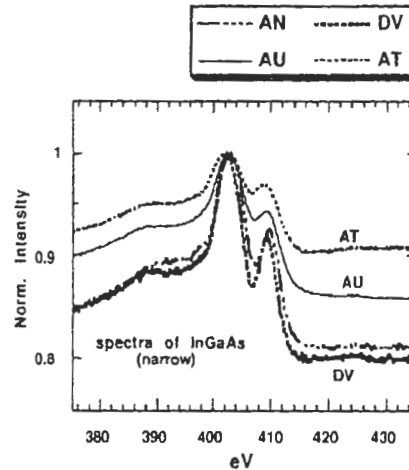


Fig.8 In MNN のオージェスペクトル

(3) ピーク強度比のスパッタ深さ依存性

Fig.9 はピーク強度比のスパッタ深さ依存性を調べたものである。深さ約 15nm 以降では強度比がほぼ一定である。しかし、表面から 1nm あたりの極めて浅い領域では In/As 比が高くなっている。

イオン照射された表面は、選択スパッタリングなどの影響で、新たな表面組成を形成する。15nm より深い領域ではスパッタリング後の表面組成が安定した部分であり、表面から 1nm 付近は、安定な組成に移る過程を示していると考えられる。イオンスパッタリング後の原子再配列がどのように起こり、組成がどのように変化するかを考察するために、極表面の情報は重要である。

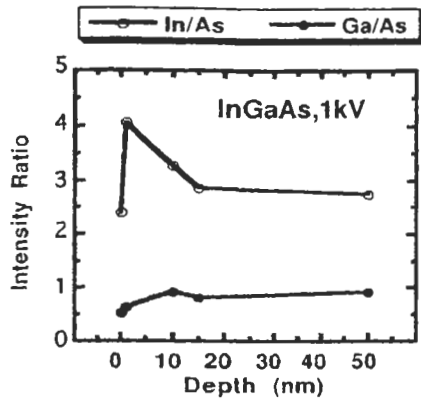


Fig.9 ピーク強度比の深さ依存性

(4) ピーク強度比のイオン加速電圧依存性

今回の実験では、ピーク強度比のイオン加速電圧依存性は認められなかった。

XPSの結果

1.測定条件

各機関から提出されたスペクトルの測定条件は以下の通りであった。

Table 1 Analytical conditions

| Institute | Instrument | X-ray       | Ion acc. Volt(kV) |
|-----------|------------|-------------|-------------------|
| AN        | PHI-5400   | Al-mono     | 3                 |
| AU        | PHI-5600   | Mg/Al-mono* | 3,5               |
| BY        | VG-LAB2    | Mg          | 3,4               |
| DD        | PHI-5600   | Al-mono     | 1,3,5             |

\*InGaAs

装置の都合によりイオン加速電圧は規定した値と異なるものがある。

2. InGaAs の結果

Ga2p, Ga3d, In3d 各ピーク面積を As3d ピーク面積を 1 として規格化し、深さ方向にプロ

ットした結果を Figs.10~13

に示す。ここで、Ga3dピークは、In4dと重なっている。機関 AU は、それを考慮し、ピーク分離を行って Ga3d のみの面積を用いているが、他の機関は Ga3d+In4d の面積となっている。

スパッタ加速電圧 5kV(機関 DD)を除き、スパッタによる深さ方向(10nm, 50nm), 加速電圧依存性はほとんど認められなかった。

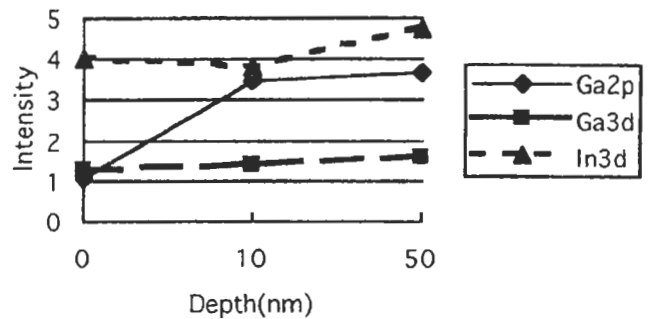


Fig 10. InGaAs peak area ratio(As3d=1)  
Ion acc.voltage 1kV (Institute:DD)

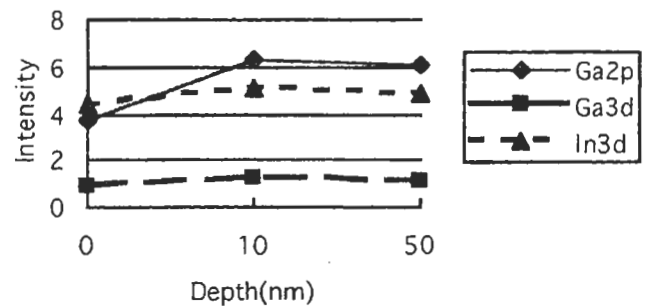


Fig 11. InGaAs peak area ratio(As3d=1)  
Ion acc.voltage 3kV (Institute:AN)

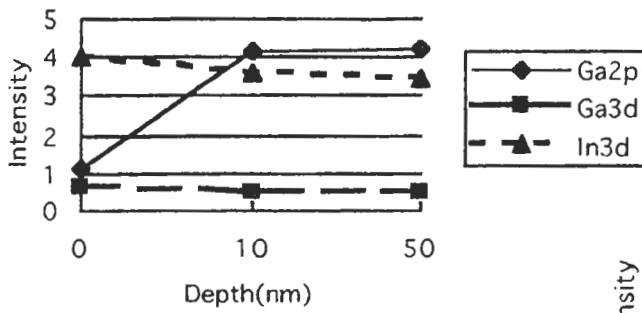


Fig 12. InGaAs peak area ratio(As3d=1)  
Ion acc.voltage 5kV (Institute:AU)

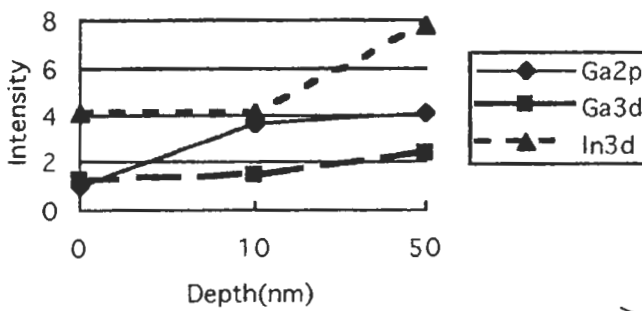


Fig 13. InGaAs peak area ratio(As3d=1)  
Ion acc.voltage 5kV (Institute:DD)

スパッタ加速電圧 5kV(機関 DD)の深さ 50nm で In が大幅に増加したのは、一部基板の InP が露出したためである。今回、深さを SiO2 にて 50nm を規定したが、実際にはもっと深かった (約 150nm) と考えられる。

ピーク高さにてプロットした結果も同様に、スパッタによる影響はほとんど認められなかった。

### 3. AlGaAs の結果

Ga2p, Ga3d, Al2p 各ピーク高さを As3d ピーク高さを 1 として規格化した結果を Figs.14 ~17 に示す。InGaAs と同様、ピーク面積、高さ共にスパッタによる深さ方向、イオン加速電圧依存性は認められなかった。

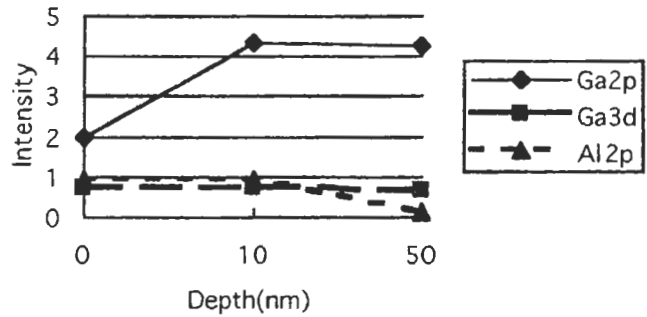


Fig 14. AlGaAs peak height ratio(As3d=1)  
Ion acc.voltage 1kV (Institute:DD)

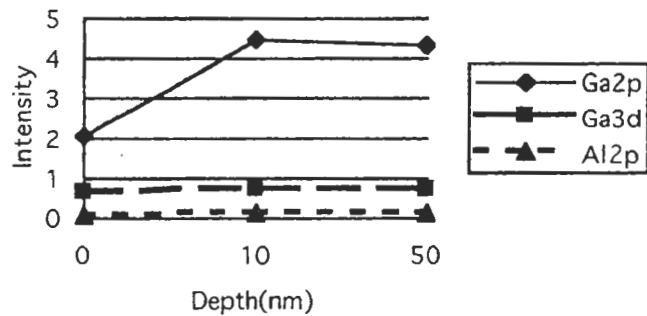


Fig 15. AlGaAs peak height ratio(As3d=1)  
Ion acc.voltage 3kV (Institute:AN)

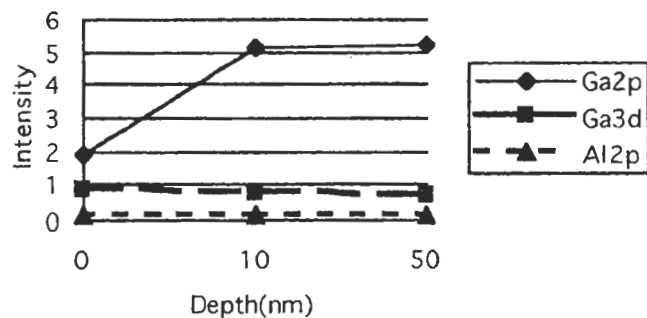


Fig 16. AlGaAs peak height ratio(As3d=1)  
Ion acc.voltage 4kV (Institute:BY)



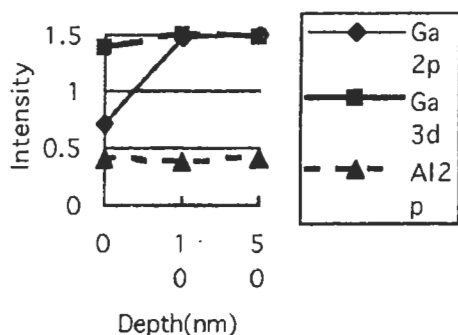


Fig 17. AlGaAs peak height ratio(As3d=1)  
Ion acc.voltage 5kV (Institute:AU)

### 今回の測定から明らかになった 問題点

- 1 SiO<sub>2</sub>膜によるスパッタリングレートの規定に関して (共通の問題)  
SiO<sub>2</sub>膜で規定したスパッタリングレートと各種材料のレートが大きく異なっていた。スパッタリングレートは被スパッタ材料やイオン照射条件 (例:イオン加速電圧) 等に依存性がある。
- 2 半値幅の狭いピークの測定に関して (InGaAs化合物半導体の場合)  
ピークの半値幅に適したエネルギーステップ幅を選択する (例: In MNN は, 404, 410eV にツインピークが検出される。ステップ幅が大きいと, 微分強度に与える影響が大きくなる)。
- 3 感度の低いピークからの強度比の算出 (AlGaAs化合物半導体の場合)  
感度の低いピーク (例: Al KLL) からピーク強度を算出する場合, ノイズの影響が大きいため, 正確なピーク強度比を求められない。
- 4 微分点数, エネルギーステップの最適化 (共通の問題)  
各種ソフトの微分のアルゴリズムを確認してからスペクトル処理を行う (全体の問題として, エネルギーステップの最適化を含め別途議論)。
- 5 試料の情報 (膜厚), (共通の問題)  
推定値ではなく, 評価結果を添付する。
- 6 表面近傍 (~1nm) のスペクトル情報 (共通の問題)  
表面近傍のスペクトルは, イオンスパッタリングによる影響を受ける場合の臨界深さとして多くの情報を含む可能性が

ある。したがって, ~1nmのスペクトルは測定すべきである。

- 7 試料の As Received の状態 (共通の問題)  
As Received の表面状態は, スペクトルやスパッタリングに影響を与える。保管状態などの規定が必要。
- 8 試料の組成比について (AlGaAsの場合)  
ピーク強度比から, イオンスパッタリングの影響の有無を調べようとしたが, もともとの存在量が少なかったため, ピーク強度も弱かった (エピ成長試料であり, 格子の整合性をとるため存在量が少なかった)。目的と試料組成を照らし合わせて検討する。

Report on the Electronics Material Group (EMG) Activities  
The influence of the ion sputtering on the AlGaAs, InGaAs surfaces

Toshiya OGIWARA, Hiroshi Nonoue\*

Japan Energy Analytical Research Center Co., Ltd.  
3-17-35, Niizo-Minami, Toda-City, Saitama 335

\*New Materials Research Center  
SANYO Electric Co., Ltd.  
1-18-13, Hashiridani, Hirakata-City, Osaka 573

We have compared the AES and XPS spectra of six samples (Si, SiO<sub>2</sub>, SiN, GaAs, InGaAs, AlGaAs) by the Electronics Material Group. We have investigated two groups extensively, one is the Si Group (Si, SiO<sub>2</sub>, SiN), and the other is the Compound group (GaAs, InGaAs, AlGaAs) in order to clarify and resolve problems of measurement. In the compound group, we investigated the damage of the sample (InGaAs, AlGaAs)

surface by ion sputtering. As a result, both in AES and XPS, the peak intensities were almost unchanged by ion sputtering under the condition of an acceleration voltage of 1~5kV.

#### 議論

査読者 田沼繁夫 (J・ARC)  
梶原和夫 (ソニー)

田沼：主題と副題を入れ替えたほうが、内容を的確に示すと思います。また、内容は活動の進捗を述べているので、その旨を示すタイトルにしてはどうでしょうか。

筆者：ご指摘のように、主題と副題を入れ替えました。また、副題を“活動の進捗報告”と修正しました。

梶原：グループ活動の基本方針が述べられるべきです。そして、手順書の目的が、ラウンドロビンテストを繰り返して標準化を目指しているのか、或いは学問的に真実を追及しているのか、はっきりしません。

筆者：基本方針およびこれまでの活動について、JSA Vol.2 No.3 に述べられる予定です。また関連した文章が JSA Vol.2 No.1 P134,135 に述べられており、割愛しました。また、この活動報告は活動の進捗を記録に残すためのものと考えております。

梶原：和文、英文の要旨ともにタイトル・本文と大きく違っています。本文中に出てこないシリコン系に関して、経過説明を述べています。この内容はイントロダクションで説明すべき事項です。また、化合物系は、化合物半導体系の方が正確な表現です。

筆者：これまでの活動がわかるように、一部分、本文と関係のない内容が入っております。また、ご指摘の通り化合物系は、化合物

半導体系に修正します。

梶原：測定に供された AlGaAs, InGaAs の素性に関する記述が全くないのが、気になります。また、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ,  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  のそれぞれ X の値が既知であれば記載すべきでしょう。

筆者：試料の情報を本文中に記載します。

梶原：スパッタリングレートは、イオン電流密度に大きく依存すると思います。Ion flux density に関する記述はないのでしょうか？

筆者：Ion flux density に関する測定は行っておりません。今回は  $\text{SiO}_2$  膜のスパッタリングレートのみで規定しました。しかし、ion flux density は重要なファクターであり、今後の検討において取り入れたいと考えます。

梶原：標準試料 (Cu) の AES 測定条件、XPS 測定条件はそれぞれ本文中の結果とは関係のない記述です。

筆者：この活動ではお互いのスペクトルを比較するために、常に Cu (標準試料) の測定を行う必要があります。その旨を本文中の実験の手順に追記しました。

梶原：ピーク強度比のスパッタ深さ依存性に 60 nm とありますが、50 nm の間違いでしょうか？

筆者：50 nm に規定しましたが、実際のスパッタリングを 60 nm 行ってしまいました。60 nm は正しい値です。

梶原：ピーク強度比のイオン加速電圧依存性ではイオン加速電圧とともに ion flux density も変化していて、それが機関毎に異なるような気がします。Ion flux density を規定して測定されては如何でしょうか？

筆者：ご指摘の通り ion flux density を規定することは非常に重要だと思います。検討当初、ion flux density を統一することも考えましたが、メーカー毎に装置の機構が異なり難

しいと考えました。また、過去に共通の装置でイオン電流密度を規定して測定を行った報告がありますが、そのような準備までできませんでした。しかし、イオンスパッタリングの影響を詳細に調べるためには、ion flux density の規定は行うべきと考えます。今後の課題にさせて下さい。

梶原：原子再配列がどのように起こり、・・・とありますが、ion sputtering 後の表面はamorphous 化が起きてしまい、reconstruction は起こさないと認識していますが、どうでしょうか？

筆者：シミュレーションの結果では、ion sputtering 後の表面は reconstruction を起こすと聞いております。

梶原：今回の測定から得られた知見について、これは“得られた知見”というより、“clear になった問題点”という方が正確な表現です。また、1～8の記述は AlGaAs のことか、InGaAs のことか、両方のことかを明瞭にして下さい。

筆者：列記した1～8の内容は、今までわからなかったことではなく、今回の測定に関して明らかになった問題ですので、ご指摘のとおり修正いたします。また、1～8がどの試料に関するものかを本文中に記載しました。

梶原：この英文要約は native には意味がよく理解出来ない英語、すなわち Japanese English で書かれていると思います。和文要約を書き直してから、英訳して native に添削してもらうことをお勧めします。

筆者：英文要約は、専門業者の native な添削を受けたものです。よって、現在の英文要約を採用したいと思います。

筆者：その他、本文中の誤りは、訂正しました。