

# レーザー原子層エピタキシーによる GaAs パターン化 成長層の評価

三好正毅\*, 飯村靖文\*\*, 岩井荘八,  
青柳克信, 難波 進\*\*

## Characterization of Patterned Epitaxial Layers of GaAs Grown by Laser Atomic Layer Epitaxy

Tadaki MIYOSHI, Yasufumi IMURA, Sohachi IWAI,  
Yoshinobu AOYAGI, and Susumu NAMBA

Raman spectra were measured at 300 K in GaAs crystal layers grown selectively on a substrate by laser atomic layer epitaxy to characterize their quality. Raman spectra of the peripheral parts of the epitaxial layers are similar to those of the central parts of the layers. This result indicates that these layers are of uniform quality.

### 1. はじめに

半導体デバイス作製において、選択結晶成長が重要である。通常は、マスクパターンを用いて選択成長を行っているが、レーザー MOVPE 法を用いると、レーザー光を走査することによって、マスクプロセスなしで直接選択成長が可能となる。さらに、レーザー MOVPE 法を改良したレーザー原子層エピタキシー(レーザー ALE 法)を用いると、均一な膜厚をもつパターン化結晶成長が可能であることが既に報告されている<sup>1)</sup>。ところが、このような成長層は、厚さが薄く(400 nm 程度)、また、幅が狭い(0.1mm 程度)ので、結晶性の評価が困難である。そこでラマン散乱測定によって結晶評価を行うことを試みた。

### 2. 実験方法

試料として、以下のような方法で成長させた GaAs を用いた。Si を約  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  ドープした *n* 型 GaAs 基板を用いて、温度 360°C で (100) 面上に成長させた。Ga の原料のトリエチルガリウム (TEG) と As の原料

のアルシン ( $\text{AsH}_3$ ) を、 $\text{H}_2$  ガスをキャリアとして反応炉に導入した。まず、TEG を 1 秒間供給し、その間に Ar レーザー (NEC GLG-3300) からの 488.0 nm と 514.4 nm の光を基板に照射した。その後、1 秒間のページ時間において  $\text{AsH}_3$  を 1 秒間供給し、1 秒間のページ時間の後、再び TEG を供給した。したがって、1 回の成長過程に必要な時間は 4 秒である。原料ガスの供給量は、TEG :  $4.7 \times 10^{-7} \text{ mol/cycle}$ ,  $\text{AsH}_3$  :  $3 \times 10^{-5} \text{ mol/cycle}$ , キャリアとして用いた水素ガスの全流量は  $2.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$  である。線条パターンを得るために、レーザービームを反射鏡で偏向させて GaAs 基板上を走査した。走査周波数は 10 Hz、基板表面でのレーザー・パワー密度は約  $140 \text{ W/cm}^2$  である。エピタキシャル層の成長速度は  $0.28 \text{ nm/cycle}$  ( $0.28 \text{ nm}$  は GaAs 1 分子層の厚さ) であるので、上記の過程を 1500 回繰り返して厚さ約  $0.4 \mu\text{m}$  の成長層を得た。

ラマン散乱測定用の光源として Ar レーザー (Spectra Physics 168B, 波長 514.5 nm, 出力 200 mW) を用いた。試料面でのレーザーパワーは約 100 mW, レーザースポットの直径は約 0.1 mm である。測定は、後方散乱配置によって、室温で行った。試料からの散乱光は、1 m のダブルモノクロメータ (Jobin Yvon, U-1000) を通した後、光電子増倍管 (浜松ホトニクス, R464SS) で電気信号に変え、フォトンカウンター (浜松ホトニク

\* レーザー分子加工研究グループ流動研究員 (山口大工業短大)

\*\* 国際フロンティア研究システム量子化素子研究チーム

ス, C1230-S), コンピュータ, X-Yプロッタによってスペクトルを測定した。

### 3. 実験結果と考察

Fig. 1 は長さ約 3.5 mm, 幅約 0.1 mm の線条パターンの表面写真である。成長層の厚さが一定で表面の平坦なパターンが得られている。Fig. 2 に線条パターンと基板のラマン散乱スペクトルを示す。全スペクトルにおいて,  $292.5\text{ cm}^{-1}$  にピークが観測される。このピークは, ラマンシフトから考えて, GaAs の LO (longitudinal optical) フォノンに起因する<sup>2)</sup>。

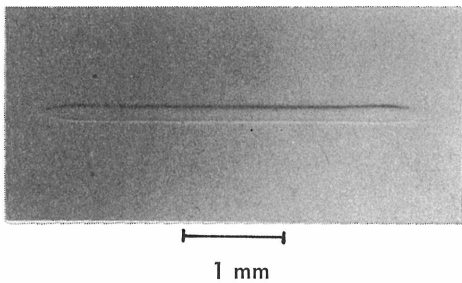


Fig. 1 Photograph of a GaAs line pattern grown by laser atomic layer epitaxy (ALE). Laser power density at substrate surface is about  $140\text{ W/cm}^2$  and scanning rate is 10 Hz.

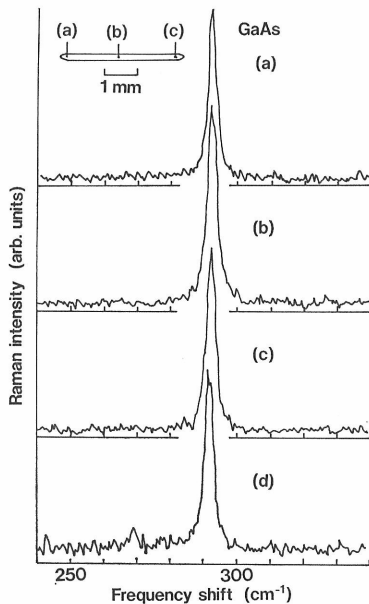


Fig. 2 Raman spectra of GaAs line pattern grown by laser ALE (a, b, c) and GaAs substrate (d).

GaAs 基板のスペクトル (d) においては,  $292.5\text{ cm}^{-1}$  のピークのほかに,  $269\text{ cm}^{-1}$  に小ピークが観測される。このピークは, ラマンシフトから考えて, TO (transverse optical) フォノンに起因するものか LO フォノンとプラズモンの結合モードに起因するものと考えられる<sup>2)</sup>。このうち, TO フォノンは (100) 面からの後方散乱配置では観測されない。結晶軸が傾いていれば観測されるが, エピタキシャル成長させた線条パターンでは観測されていないので, TO フォノンによるものではないと考えられる。一方, LO フォノンプラズモン結合モードは, 電荷担体密度の高い GaAs において観測されている。ピーク位置は担体密度に依存し,  $n$  型の場合は, 電子密度  $n \geq 2 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$  のとき, TO フォノンのピーク位置とほぼ同じになる<sup>3)</sup>。これは, 電子密度が高いときには, 電子ガスによってイオン電荷が遮蔽され, イオン分極の効果がなくなるためである。基板の不純物密度は, ほぼこの領域に入るので,  $269\text{ cm}^{-1}$  のピークは LO フォノンプラズモン結合モードに起因すると考えられる。

ところで, 基板中の電子密度が一樣であれば, 結合モードのみが観測されるはずであるが, 実際には, プラズモンと結合していない LO フォノンピークも,  $292.5\text{ cm}^{-1}$  に観測されている。このピークは表面空乏層からのものと考えられる。電子密度が  $2 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$  程度のときの表面空乏層の厚さは  $20\text{ nm}$  程度であり<sup>4)</sup>, 一方,  $514.5\text{ nm}$  の光の GaAs への侵入深さは  $100\text{ nm}$  程度である。したがって,  $20\text{ nm}$  よりも浅い部分では, 光は, 主として LO フォノンによって散乱され,  $20\text{ nm}$  よりも深い部分では, 光は, 主に結合モードによって散乱される。このため, LO フォノンピークと LO フォノンプラズモン結合モードピークの両者とも観測される。結合モードのピークは,  $500\text{ cm}^{-1}$  付近にも現われるはずであるが<sup>2)</sup>, ピーク強度が低いので, 観測にかからないと考えられる。

Fig. 2 (b) はパターン中央部, (a) と (c) はパターン端部のスペクトルであるが, スペクトルの形は, 基板のスペクトルとほぼ等しい。パターン上の他の点においてもラマン散乱を測定したが, 同様なスペクトルが得られた。ラマンスペクトルは, 結晶中の欠陥の影響を受け, 欠陥を含む結晶ではラマン線の幅が広がり, ピーク強度が低下することが知られている。測定箇所によってラマンスペクトルの形が変わらないことは, 線条パターン全域にわたって, 基板と同程度の均質な結晶が得られていることを示唆している。線条パターンのスペクトル (a), (b), (c) において,  $269\text{ cm}^{-1}$  のピークが観測さ

れないことは、エピタキシャル層の担体密度が低いこと ( $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  以下) を示している。

#### 4. おわりに

レーザー原子層エピタキシーによって成長させた GaAs 線条パターンのラマンスペクトルを測定した。線条パターンは均質な結晶で、電荷担体密度が低いことを示した。このような薄く狭い成長層の結晶評価は、ラマン散乱測定によって非破壊的に行うことができる。

#### 参考文献

- 1) 岩井莊八, 土井功年, 青柳克信, 難波 進: レーザー科学研究, No. 10, p. 104 (1988).
- 2) Abstreiter, G., Bauser, E., Fischer, A., and Ploog, K.: *Appl. Phys.*, **16**, 345 (1978).
- 3) Abstreiter, G., Cardona, M., and Pinczuk, A.: "Light Scattering in Solids", ed. Cardona, M. and Guntherodt, G., Springer, Berlin, 4, 5 (1984).
- 4) Shen, H., Pollak, F.G., and Sacks, R.H.: *Appl. Phys. Lett.*, **47**, 891 (1985).