



| | |
|--------------|---|
| Title | PLトポグラフィによるGaAs基板の評価 |
| Author(s) | 白川, 二; 浜口, 智尋 |
| Citation | 大阪大学低温センターだより. 1986, 56, p. 1-4 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/10507 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

PLトポグラフィによるGaAs基板の評価

工学部 白川 二, 浜口 智尋 (吹田 5012)

1. まえがき

電子の大きな移動度と禁止帯幅が近赤外線領域に相当していることから、GaAs結晶はSiに代わる次世代の高速集積回路(IC)やオプトエレクトロニクス材料として注目されている。ICは、半絶縁性(SI)GaAs基板にドナやアクセプタをイオンインプランテーションによって直接ドーピングするか、あるいはP型やN型のGaAs結晶薄膜をエピタキシャル成長させて作られるが、この時、高品質で大口径のSI基板が必要となる。最近、LEC(Liquid Encapsulated Czochralski)法で、3インチ程度の比較的高品質の基板が得られるようになったが、無添加基板では転位網が発生し、それに伴う基板面内の不純物や格子欠陥濃度の不均一性が、素子特性に多大な影響を与えることが知られている。そのような不均一性の評価は、これまででも多くの測定手段によって試みられているが、素子の微細化に伴いマイクロな不均一性の評価方法が必要となってきた。

本ノートでは、GaAs基板の不純物濃度のマイクロな不均一性を測定するため、筆者らが開発したホルミネッセンス(PL)トポグラフィ測定装置とこれを用いたSI-GaAs基板の測定結果を紹介する。

2. PLトポグラフィ測定装置

PLは、半導体結晶の場合、禁止帯幅以上のエネルギーを有する光を照射したとき、価電子帯から伝導帯に励起された電子が、価電子帯中の正孔と再結合する際に放出する光のことで、そのスペクトルから電子エネルギー帯構造、不純物状態、格子欠陥などの詳しい物性を知ることができる。通常、半導体結晶中では試料温度が低い程、電子の非発光遷移割合およびエネルギー準位の熱による拡がり小さくなるので、PL強度は大きくなり、発光スペクトルも鋭くなる。このため、PL測定は低温で行う必要がある。PLを利用した不純物濃度の不均一性測定は、注目する不純物に起因するPL強度を基板面上の位置の関数として測定することによってなされる。^{1~5)} これまでは、レーザ・ビームを基板面上で掃引し、PLの二次元強度分布を測定して不均一性の評価がなされていた。

PLトポグラフィは、基板上0.03~3mm²の面積にレーザ光を均一に照射し、特定波長の二次元PL強度分布をイメージンテンシファイアで直接観察するもので、ビーム掃引法よりも短時間で、しかも全面のマイクロな不均一性を容易に調べることができる。図1に、装置のブロック図を示す。励起光源には、アルゴンイオンレーザの488nmか514.5nmの発振線を用いる。レーザ光は、最初にフィルタで発振線以外の余分な蛍光を除去し、次にビーム径を10mmに拡大した後、顕微鏡を通して試料に照射される。試料は、クライオスタットの液体ヘリウム槽底面の無酸素銅板に取り付けられている。レーザ光は顕微鏡視野内の試料表面に均一に照射される。レーザ光強度は、試料の温度上昇を考慮して試料表面で20mW以下に設定される。視野面積は、対物レンズの倍率で決まり、直径が200μm~2mmの範囲で選

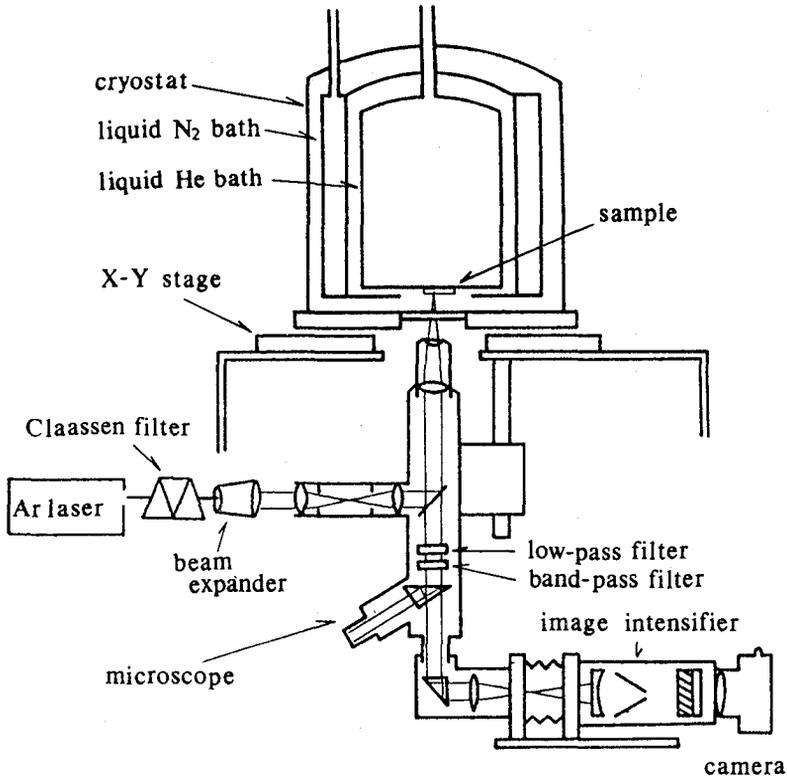


図1. PLトポグラフィ測定装置のブロック図

択できる。試料からのPLは、対物レンズで集光し、注目する波長の光のみを干渉フィルタで取り出しイメージインテンシファイアに導く。光学系は、視野内のPL像がインテンシファイアの光電面で結像するように設定されており、蛍光面で直接観察できる。また、カメラを取り付けることによってPLトポグラフィの写真撮影ができる。

PLトポグラフィを得るに際して、装置の空間的分解能は、重要な要因である。これは対物レンズの倍率と励起された電子もしくは正孔の拡散距離によって制限をうける。レンズは、高倍率のものほど焦点距離が短くなるので、使用可能なレンズは、クライオスタットの構造、つまり、光学窓外面から試料表面までの距離 L_{ws} で制限される。本装置の L_{ws} は、厚さ 0.5mm の試料で約 5mm となるので、倍率20倍（焦点距離 7mm ）までのレンズが使用でき、このとき、分解能は $3\ \mu\text{m}$ 程度となる。キャリアの拡散距離 L は、 $L = \sqrt{D \cdot \tau}$ [D : 拡散係数、 τ : キャリアの寿命] の関係式から求められる。拡散係数は、アインシュタインの式 $D = (kT/q) \cdot \mu$ [k : ボルツマン定数、 T : 温度、 q : 電荷量、 μ : 移動度] より求められる。GaAs中の電子に関して、 10K で $\mu = 10^4\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ とすると、 $D = 8.6\text{cm}^2/\text{s}$ となる。電子、正孔の寿命は、バンド端近傍の浅い準位を介した遷移では、 $\tau \leq 10^{-9}\text{s}$ であり、拡散距離は $L \leq 0.93\ \mu\text{m}$ となる。したがって、浅い準位に関与したPL測定では、対物レンズの倍率によって空間的分解能が決まる。

測定可能なPLの光波長は、インテンシファイアの分光感度特性で決まるが、本装置の分光感度は、

300～910 nmにあるので、GaAs中の主たる残留不純物（炭素、Si）によるPLを測定できる。

3 SI-GaAs 基板の PL トポグラフィ

LEC法で育成した2インチ無添加SI-GaAs基板のPLトポグラフィの測定結果を以下に示す。測定されたPLの光波長は、831nm (1.49 eV)で炭素アクセプタに関与したものである。測定時の試料温度は約14Kである。

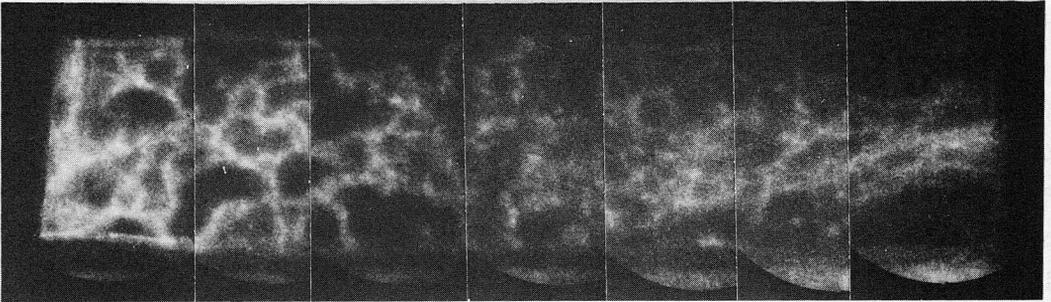
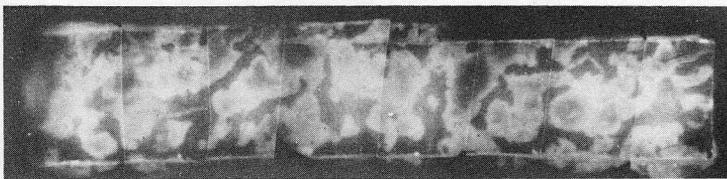
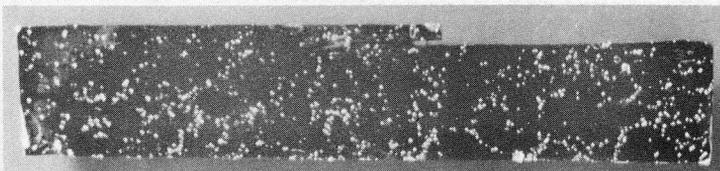


図2. as-grown SI-GaAs 基板の PL トポグラフィ

図2は、as-grown結晶の測定結果で、試料は基板エッジ近くの $2 \times 6 \text{ mm}^2$ から切り出された。網目状の白い部分が、発光強度の強い部分である。PLトポグラフィ測定後、KOHでエッチングし、エッチピットを顕微鏡観察すると、ピット密度の大きい部分は、網目状発光部と完全に一致しており、転位密度と炭素アクセプタによるPL強度が対応していることが分かる。この試料のPLスペクトルでは、831nm発光線以外にも、822nm (1.506 eV)に浅いドナに束縛された励起子による発光も観測される。この発光線のPLトポグラフィは図2と同じパターンを示した。



(a)



(b)

図3. (a) アニール後のSI-GaAs 基板の PL トポグラフィ
(b) KOHによるエッチング後の表面写真

図3(a)は、窒素ガス中800℃、24時間のインゴットアニールした試料のPLトポグラフィで、図3(b)に、エッチング後のピット像を示す。これらから、ピット密度の大きい部分で発光強度が弱くなっており、as-grown試料と比較すると、コントラストが反転しているのが分かる。図(a)を詳細に観察すると、網目の個々のセル内部で発光強度が強大し、それがセル境界に向って進行している如くに見える。アニールによるPLのコントラストの反転は、発光中心の空間的分布によるものか、非発光中心の分布変化によるものかは、この結果だけで判断できない。しかし、この結果は、転位と不純物濃度やその不均一性と素子特性との関連について、物性的に解明する手掛かりを与えるものである。

4. む す び

PLトポグラフィ測定によって、GaAs基板中の不純物濃度のマイクロな不均一性を素早く観察でき、そのパターンは、転位密度と強い相関を示すことを紹介した。しかし、非発光中心の存在を考慮するとそのコントラストは、直接不純物濃度と対応しているとは言えない。結晶成長条件やアニール条件の異なる試料での系統的トポグラフィ測定、トポグラフィの励起光エネルギー依存性の測定、レーザービーム掃引法による深い準位による発光帯の強度分布測定などによる詳細な解析が今後の課題である。

参 考 文 献

- 1) M.Tajima: Jpn. J. Appl. Phys. **21** (1982) L227.
- 2) K.Kitahara, N.Nakai and S.Shibatomi: J. Electrochem. Soc. **129** (1982) 880.
- 3) M.Yokogawa, S.Nishimi, K.Matsumoto, S.Akai and H.Okada: Jpn. J. Appl. Phys. **23** (1984) 663.
- 4) K.Watanabe, N.Nakanishi, K.Yamada and K.Hoshikawa: Appl. Phys. Lett. **45** (1984) 643.
- 5) T.Shirakawa, M.Haraguchi, M.Murakami and C.Hamaguchi: Jpn. J. Appl. Phys. **24** (1985) 1565.