

最近の技術から

分光エリプソメトリ法による GaAs/AlAs 超薄膜超格子の光学特性評価

山口十六夫*・安間 久**・奥村 元***・吉田 貞史***

*** 静岡大学電子工学研究所 〒432 浜松市城北 3-5-1

*** 電子技術総合研究所 〒305 つくば市梅園 1-1-4

1. はじめに

3年前の本誌解説¹⁾のなかで分光エリプソメトリを評価手段とした論文が増大しつつあると書いたが、最近のabstract誌を見ても確かにそのような論文が目につく。しかし、市販の装置に満足すべき性能を備えたものが少ないこともあって、わが国では分光エリプソメータを用いた研究の発表は少ない。エリプソメトリの計測方式は回転素子法と消光法に大別でき、4ゾーン計測をすると測定精度が上がる¹⁾。市販のエリプソメータの大半は1ゾーン回転素子法であり、この方式で測定精度を高く保つためには、装置の精密工作と機械的な堅牢さ、電気系および光学系の厳密な初期調整などが要求されるのに対し、4ゾーン消光法では比較的簡単な工作と初期調整で高い測定精度が得られる。本稿では試作した4ゾーン消光型分光エリプソメータの概要と、比較的複雑な対象である GaAs/AlAs 超薄膜超格子へ適用した例について述べる。

2. 4ゾーン消光型分光エリプソメータ²⁾の概要

分光型は単に測定光の波長を変えるだけのことだが、位相補償子に波長分散の小さな4回全反射フレネルロムを用いたのが本装置の特徴である。端面を74°程度に研磨した70×10×10mm³程度のガラスロッドを屋根型に突き合わせた構造であり、光路長が長いので材料の不均質性や温度歪みの影響をまともに受けそうな危惧があったが杞憂であった。位相差を実測すると、 $\lambda=350\text{ nm}$ で96°、800nmで93.5°程度で、屈折率の分散に伴って単調に変化する。5桁以上の消光比をもつ二つの偏光子の間にこれを挿入してもやはり同程度の消光比が得られることから判断して、素子としての性能は問題ない。むしろ、位相測定に用いたバビネソレイユ位相補償子を挿入したときのほうが消光比は悪かった。

消光操作は、PC-9800系のパソコンにベーシックと機械語を併用して行なわせた。測定波長領域により、また、ゾーン切換え時に、光強度は桁違いに変化するのので、フォトマルに加える電圧および8ビットA/Dコンバータの前におく直流増幅器のゲインを自動調整した。1波長当りの4ゾーン計測時間は30秒、60点のスペクトルを得るのに30分で済む。

3. 標準的な試料の計測による装置性能の確認

エリプソメータが正しい値を計測しているかどうか簡単にチェックする方法は、等方的な試料に対する計測値の入射角依存性がないことを見ることである。図1に溶融石英ガラス基板の測定例を示す。三つの入射角での測定値はよく合致し、 $k=0$ になって透明体の特徴をよく表わしている。

4. GaAs/AlAs 超薄膜超格子の計測³⁾

測定した試料の構造は次のようである。

空気/酸化膜/GaAs-Cap 層/超格子 [SL]/GaAs 基板
 $[SL]=[(\text{GaAs})_N(\text{AlAs})_N]_M$

半絶縁性の GaAs ウェハ (001) 面上に MBE 法でエピタキシャル成長させた GaAs 膜を基板とし、引き続き GaAs と AlAs を交互に N 層ずつ M 対堆積させ、最後に AlAs を空気から保護するため GaAs を Cap 層として 40 原子層かぶせた。超格子 SL と Cap 層を含む試料全体の厚さがエリプソメトリの計測に有利な $\lambda/4$ 程度になるように M を変えた。酸化膜は 1.5 nm 前後でありこれは空気中で測定するため不可避である。

三つの入射角 40, 60, 80° でエリプソメトリのパラメータ Ψ と Δ を測定し、SL を均質な吸収性薄膜とみなして5相モデルで解析した。SL および Cap 層の厚さは、作製時の RHEED スポット強度の振動回数から正確にわかる。GaAs および酸化膜の屈折率には文献値^{4,5)} を用い、SL の n と k をターボパスカルによる改訂シン

** 現在: 静岡日電(株) 〒436 掛川市下俣 4-2

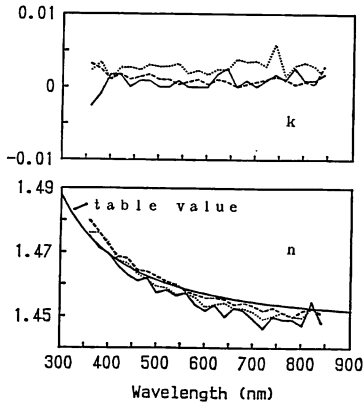


図1 熔融石英基板の n と k の実測例
入射角: 60° (点線), 70° (破線), 80° (実線)

レックス法を用いて決めた。

図2の右側の図は解析結果の一例である。吸収端より低エネルギー領域では、 $\epsilon_2=0$ でなければならないが、酸化膜の厚さが適切でないとわずかに0の上下に外れるので、酸化膜の厚さを調整パラメータとして $\epsilon_2=0$ になるようにした。左側の図は対応したSLの理論曲線⁶⁾である。理論によるとSLの光学特性は面に垂直と平行な電場成分に対し異なる。その異方性を検出するため三つの入射角で測定したわけだが、異方性パラメータを正確に決定するためには測定精度が不十分であった。GaAsの屈折率は3.5以上と大きく、SL内では光はほとんど垂直方向に屈折してしまうので膜厚方向の電場成分に対し鈍感となるからである。

図3は、 ϵ_2 の立ち上がるエネルギーギャップを各層の層数 N に対してプロットしたものである。理論とよく合致していることがわかる。 ϵ_1 の振舞いにもSLの光学特性に関する情報が含まれているが紙数の関係で割愛する。

5. おわりに

市販のエリプソメータのように良質の光源であるレーザーを用いてないので S/N が悪く、現時点ではそれによる消光点の決定誤差が測定精度向上のネックとなっている。しかし、同一標準サンプルについて数社の市販エリプソメータによる一波長での測定結果と比較してみると、本装置は精度、計測時間ともに遜色がなかった。 S/N はエレクトロニクス技術で改善が可能だし、フレネルロムなどの光学素子もよく吟味して用いればさらに測定精度を向上することが期待できる。

市販のエリプソメータのユーザーからエリプソメトリに対する不満の声を聞くことが少なくない。試料設定の

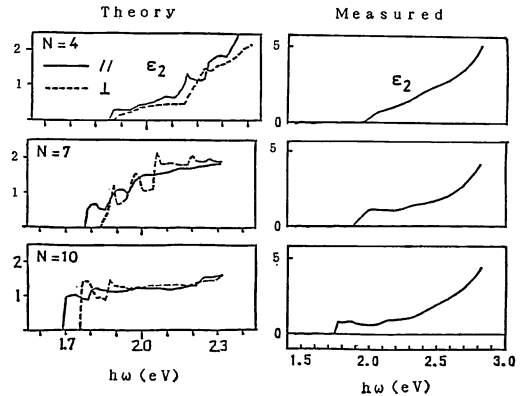


図2 $[(\text{GaAs})_N(\text{AlAs})_N]_M$ 超格子の吸収端近傍の ϵ_2
(左: 理論曲線⁶⁾, 右: 実測曲線)

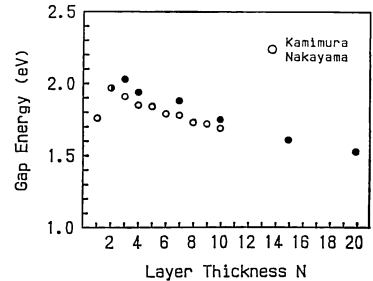


図3 吸収端エネルギーの N 依存性
●: 実測, ○: 理論⁶⁾

困難さもさることながら、計測値に信頼感がもたれないのは残念である。多少遅くても確かな値を出して欲しいし、試料設定などは完全自動化して素人がワンタッチで扱えるようにして欲しい。非接触、非破壊、瞬時計測、高感度、高精度などの特色をもつ素晴らしい技術であるからメーカーのいっそうの努力を期待したい。

文 献

- 1) 山口十六夫: "エリプソメトリとその応用", 光学, 14 (1985) 443-449.
- 2) 安間 久, ほか: "4ゾーン消光型分光エリプソメータの試作と応用", 静大電研報告, 21 (1986) 91-101.
- 3) H. Anma, *et al.*: "Optical constants of $(\text{GaAs})_N$ - $(\text{AlAs})_N$ superlattices," 2nd. Int. Conf. on Electrical Transport and Optical Properties of Inhomogeneous Media, Paris (1988).
- 4) D. E. Aspnes, *et al.*: "Optical properties of GaAs and its electrochemically grown anodic oxide from 1.5 to 6.0 eV," J. Electrochem. Soc., 128 (1981) 590.
- 5) D. E. Aspnes, *et al.*: "Optical properties of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$," J. Appl. Phys., 60 (1986) 754.
- 6) H. Kamimura, *et al.*: "Self-consistent band structure calculations of $(\text{GaAs})_N/(\text{AlAs})_N$ superlattices of ultrathin layers with $n=1$ to 10," Proc. ICPS (1986) 643.

(1988年6月4日受理)