

最近の技術から

光熱偏向分光法による薄膜の光学特性評価

浅野 明彦

(株)富士電機総合研究所 〒240-01 横須賀市長坂 2-2-1

1. ま え が き

光熱偏向分光法¹⁾ (photothermal deflection spectroscopy: PDS) は、光学吸収スペクトルを高感度で測定する方法として、しだいに普及しつつある。これは光励起された試料が、非発光遷移により基底状態にもどる際の発熱を、試料自身または、これに接する媒質の屈折率変化から測定するもので、発光遷移をとらえる光ルミネッセンス法とは相補的な関係にある。PDS は光吸収量を直接測る方法であり、従来の分光透過・反射法では測定できなかった微弱な光吸収を測定できるため、とくに薄膜半導体のサブギャップ光吸収スペクトルからギャップ内準位を評価するために、広く用いられている。ここでは PDS の原理について簡単に説明した後、アモルファスシリコン (a-Si) 系薄膜への応用例を紹介する。

2. PDS の 原 理

図1は薄膜に対して多く用いられている、transverse 型 PDS (プローブ光と励起光が直交している型) の原理図を示す。試料に周波数 f の断続単色光が入射すると、これに同期した光励起→非発光遷移による緩和が生じ、その際の発熱により、周りの媒質には試料面から遠ざかるにつれて指数関数的に減衰する温度勾配が生ずる。この温度勾配による屈折率勾配は、屈折率効果により、通過するプローブ光を偏向させるが、その偏向は断続単色光に同期しているため、半導体位置検出素子とロックインアンプを用いて、高感度で同期検出できる。一例を挙げると、四塩化炭素を媒質に用い、 $f=10\text{ Hz}$ の場合に、偏向雑音は約 10^{-9} rad であり、これは 100 nW/cm^2 の吸収光強度に相当する²⁾。さて、この偏向の大きさを励起光強度で規格化したものを PDS 信号 S と呼ぶことにすると、 S は周波数 f で交流的な熱拡散長内で発生した熱量に比例するが、さらに発光遷移がゼロとみなせる場合には、光吸収量に比例する。とくに、試料の厚さ l が熱拡散長より薄い薄膜の場合には、光学吸収係数 α を求めることができる。

3. a-Si 系薄膜の光学特性評価への応用

a-Si のサブギャップ光吸収スペクトルは、ギャップ内準位と強い相関があり、PDS は、その測定手段として広く用いられている。

図2はグロー放電法によりガラス基板上に成長した厚さ $1.8\text{ }\mu\text{m}$ の a-Si 薄膜の PDS 信号スペクトルである。ただし試料表面での励起光の反射スペクトルによる補正は加えていない。波長 600 nm 付近では $\alpha l \gg 1$ となるため信号は飽和するが、これより短波長側では表面反射率の増加による信号の低下が見られる。信号の飽和値を S_{sat} と書くことにすると、表面反射率の変動や膜内での多重反射の影響を無視して、

$$S = S_{\text{sat}} \cdot \{1 - \exp(-\alpha l)\} \quad (1)$$

となる。この式を用いて光学吸収スペクトルを求めると図3のようになる。光吸収端付近では、光学吸収係数が光子エネルギーに対して指数関数的に変化する Urbach テイルが見られ、さらに低エネルギー側では、光学吸収係数がゆるやかに変化するショルダーが見られる。a-Si 系半導体では、価電子帯側に伝導帯側より多くの局在準位が存在し、そのため、Urbach テイルの傾きは価電子

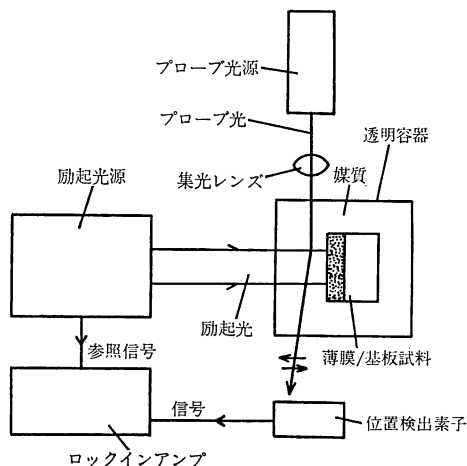


図1 PDSの原理図

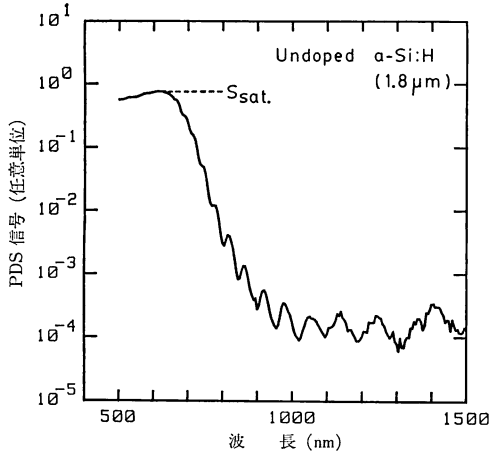


図2 a-Si 薄膜の PDS 信号スペクトル

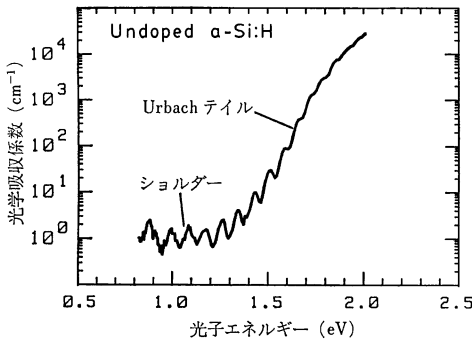


図3 a-Si 薄膜の光学吸収スペクトル (干渉縞除去前)

帯側のギャップ内準位の密度分布を反映している³⁾。したがって、その傾きが急峻なほど、低欠陥な膜であり、キャリアの輸送特性も良好なことが多い。またショルダ吸収は、ギャップ中央付近の深い準位を介した光学遷移に基づき、低いほど、低欠陥であるが、その定量的な取扱いについては、依然議論が残されている。

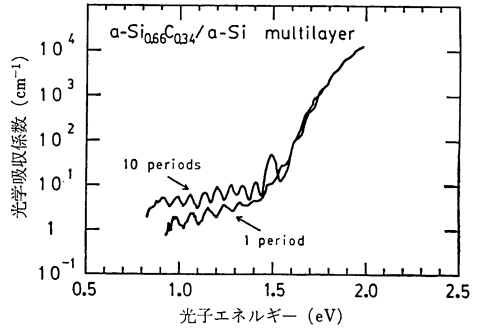


図4 a-SiC/a-Si 多層膜の光学吸収スペクトル (干渉縞除去前)

図4は a-SiC/a-Si ヘテロ界面の欠陥面密度を求めるために作製された多層膜のサブギャップ光吸収スペクトルを示す⁴⁾。両者は積層周期数が異なるが、a-Si 層および a-SiC 層の各合計厚さがほぼ同じ (1.8 μm および 0.2 μm) になるように作製してある。したがって 10 周期積層した膜のショルダー吸収の増加は、ヘテロ界面欠陥によるものと考えられ、欠陥面密度を定量的に評価できる。

文 献

- 1) W. B. Jackson, N. M. Amer, A. C. Boccara and D. Fournier: "Photothermal deflection spectroscopy and detection," *Appl. Opt.*, **20** (1981) 1333.
- 2) 浅野明彦, 酒井 博: "光熱偏向分光法 (PDS) によるアモルファスシリコンの評価", *応用物理*, **55** (1986) 713.
- 3) S. Yamasaki, H. Oheda, A. Matsuda, H. Okushi and K. Tanaka: "Gap-state profiles of a-Si: H deduced from below-gap optical absorption," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **21** (1982) L539.
- 4) A. Asano, T. Ichimura, Y. Uchida and H. Sakai: "Characterization of a-Si_{1-x}C_x: H/a-Si: H and a-SiN: H/a-Si: H heterojunctions by photothermal deflection spectroscopy," *J. Appl. Phys.*, **63** (1988) 2346.

(1988年7月8日受理)