

## 最新の技術から

# 偏光を考慮した真空紫外域の効率測定

三 谷 七 郎

大阪市立大学原子力基礎研究所 〒558 大阪市住吉区杉本 3-3-138

## 1. はじめに

シンクロトロン軌道放射光の利用や超高温プラズマ診断などの分野における真空紫外域の分光研究は、コンピュータの普及による光学設計技術、光学素子(回折格子、反射鏡など)の設計・製作技術、高精度分光装置の製作・調整技術や真空技術などの広い分野の進歩に支えられた、研究目的に応じた多様な分光装置の開発によって質量ともに急速に進展を遂げて来た。しかし、分光装置の明るさの見積りに関しては、真空中での測定と反射型の光学素子しか使えないというこの波長領域特有の困難さのために、光学素子の特性のデータがほとんどない状態であったので、分光装置設計者や絶対測光を目指す研究者から光学素子の特性評価(とくに偏光を考慮した)技術の確立が望まれていた。

この要望に応えるべく製作された、任意の入射角で、結像条件を考慮しない反射率測定法に従って、回折格子の回折効率や反射鏡の反射率(以下略してたんに効率という)を偏光成分別に求める効率測定装置について簡単に紹介する。

## 2. 測定装置

装置は、光源系の偏光特性測定時と試料の効率測定時で、異なった光学系の構成を取るが、それらをまとめて図1に示す。以下に各構成装置(図中の略号で表わす)について説明する。

光源(LS): 径3mm、長さ60mmのガラス製キャピラリーとアルミニウム製電極から成る水冷式放電管で、He、NeおよびH<sub>2</sub>の低圧直流放電を行なう。

モノクロメーター(M): ホログラフィック・トロイダル回折格子を用いた定偏角(142°)、定焦点距離(略300mm)、低収差のモノクロメーター(J.Y.製、LHT30と同等)で、LSの発光から256~1216Åの波長範囲の輝線を単色化して出射する。

偏光子(P): 円筒鏡3枚(入射角は順に75°-60°-75°で、中央の鏡の中心軸は入射面内に、前後の鏡の中心軸

は入射面に垂直)を入射と出射の光軸が一致するように配置した集光性の反射型の偏光子で、光軸のまわりに90°入射面を回転できる。常にMに接がれ、入射面の回転によって偏光度の異なる一組の単色光を、Mとほぼ同じ発散条件で出射する。以後LS-M-Pをまとめて光源系と呼ぶ。

検光子(A): 偏光子と同じ構造で、後述の測定aの場合にだけ用いる。

検出器(D): 光の検出には、小型で真空中の移動に適し、面感度の一様性に優れ、可視光に不感のマイクロチャンネルプレート(MCP)を用いる。偏光の問題の処理(後述)に適した組立て式ホルダーに2枚重ねて収められている。MCPの出力は、その近傍に配置された微小電荷増幅と波高弁別の機能を有するハイブリッドIC(AMPTEK社製A101PAD)でTTLレベルの計数パルスに成形されて送り出される。雑音は1cps以下である。

効率測定系(図1c)は試料(G)の入射角設定機構とDを入射光強度測定位置と回折あるいは反射光強度測定位置に移動する機構とを備えている。

真空: LS、Mおよび効率測定系はそれぞれターボモレキュラーポンプで排気され、ドライ化が図られている。

## 3. 測定

偏光を考慮した効率測定は波岡<sup>1)</sup>、Hammら<sup>2)</sup>の方法を一部改めて、次のような方法で行なわれる。

測定a: 光源系の後に図1a)に示すAとDを配置する。Mの入射光の、その入射面に対して、電気ベクトルが垂直なs偏光成分の強度および電気ベクトルが平行なp偏光成分の強度をそれぞれI<sub>s</sub>、I<sub>p</sub>としたとき、その比 $g = I_p/I_s$ を求める(諸量はすべて波長の関数であるが、簡単のために一波長について考えるのでその記入を省略した)。Mの入射面に対して、1)PとAの入射面が共に平行、2)Pの入射面が平行でAの入射面が垂直、3)PとAの入射面がともに垂直および、4)Pの入射面が垂直でAの入射面が平行、の四つの場合についてDの出力の計

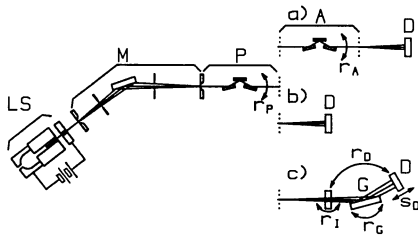


図1 測定光学系の配置図. 測定に応じて a, b あるいは c を P に接続する.

数率  $I_1, I_2, I_3$  と  $I_4$  を測定する. この測定値より  $g$  は次式で求まる. すなわち

$$\left. \begin{aligned} g &= A - \sqrt{A^2 - 1} \\ 2A &= \frac{I_1^2 - I_2^2 + I_3^2 - I_4^2}{I_1 I_3 - I_2 I_4} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

測定 **b**: 光源系の後に D のみを置く (図 1 b)). M の入射面に対して P の入射面が, 1) 平行および, 2) 垂直の二つの場合の D の出力の計数率  $i_{||}$  と  $i_{\perp}$  とを測定して, 比  $h = i_{\perp} / i_{||}$  (2) を求める.  $g$  と  $h$  とで光源系の偏光特性のすべてが表わされる.

測定 **c**: 光源系の後に効率測定系を配置する (図 1 c)). まず D を入射光に向けて (測定 b と同じ配置)  $i_{||}$  を測る. 次いで D を所定の回折あるいは反射角位置で G から適当な距離に移動し, P の入射面を M の入射面に対して平行, 垂直の二つの場合の回折あるいは反射光強度  $I_{||}, I_{\perp}$  を測定する. 試料の  $s$  偏光および  $p$  偏光成分光に対する効率  $R_s$  および  $R_p$  は次式で求まる. すなわち

$$\left. \begin{aligned} R_s &= \frac{(1-hg)I_{||} - (h-g)I_{\perp}}{(1-h^2)i_{||}} \\ R_p &= \frac{-(h-g)I_{||} + (1-hg)I_{\perp}}{g(1-h^2)i_{||}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

回折光測定では, 回折格子からの散乱光の影響が無視できないので, D を所定の回折角の前後にスキャンして台形の光強度分布を求め, その前後の雑音成分強度を差し引いて, 回折光のみの強度を求める操作が必要である.

**MCP 使用上の注意:** MCP のチャンネルの向き (チャンネルの入力側から出力側への方向の MCP 面への投影) を M の入射面に対して異なる角度で測った  $g$  の印加電圧特性を図 2 に示す.  $g$  には  $s, p$  両偏光成分に対する感度の比が生で含まれている. 図 2 はチャンネルの向きを  $45^\circ$  とし, 電圧を変えても  $g$  の値が変わらない, すなわち両偏光成分の光に対する感度が等しい配置で使うべきことを示している. また高い印加電圧はこの感度の比を 1 に近づけるのに有効である. 高計数率の場合の一時的

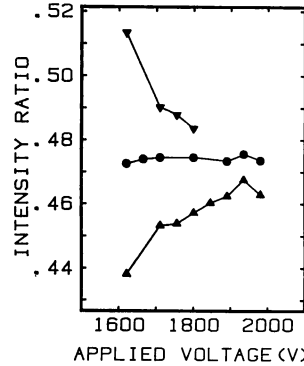


図2 MCP のチャンネルの向きと  $g$  の印加電圧特性との関係 (波長  $584 \text{ \AA}$ ). M の入射面に対してチャンネルの向きが平行 ( $\nabla$ ),  $45^\circ$  ( $\bullet$ ) および垂直 ( $\blacktriangle$ ) の場合.

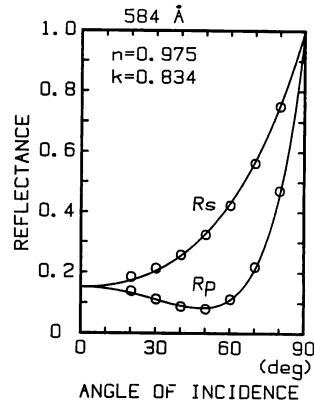


図3 波長  $584 \text{ \AA}$  における金の反射率の入射角特性. 測定 ( $\circ$ ), 計算値 (実線).

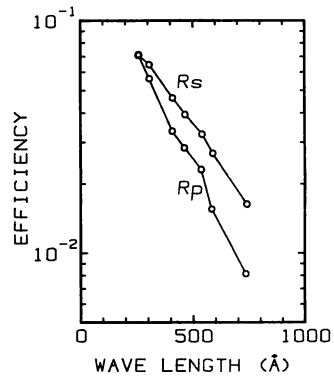


図4 機械刻線回折格子の回折効率 (入射角  $80^\circ$ , +1 次)

感度の低下や光の集中による永久的な局所感度の劣下は MCP の面感度の一様性を損い, 測定精度に悪影響を及ぼすので注意を要する.

#### 4. 測定結果

図3は金の反射率の入射角特性の一例(波長 584 Å)である。フレネルの反射率公式を用い測定値から最小二乗法で求めた光学定数( $n, k$ )を使って計算した反射率と測定値とはきわめて良く一致している(他の波長においても同様の結果が得られている)。また、このようにして得られた光学定数の波長分布は理論的に予測される分布<sup>3)</sup>と傾向において良く一致している。

図4は機械刻線回折格子(B & L 製, 刻線密度 1200 lines/mm, 曲率半径 1999.5 mm, ブレーズ角 1°, 金表面)の入射角 80° のときの+1 次回折光の回折効率の波長分布である。同図はブレーズ波長(入射角 80° のとき 56 Å)に向けて効率が良くなり, 短波長で両偏光成分に対する効率の差が小さくなるという予測されるとおりの結果を示している。

#### 5. あとがき

本文に示された状況により, 真空紫外域における偏光を考慮した効率測定の手法が確立された。この技術は, 光学素子の製法の改良や, 値い付けされた分光装置の製作を通じて, シンクロトロン軌道放射光を利用する物性研究や, 天文学やプラズマ診断などの領域における光強度の絶対測定などのこの波長域における分光研究の進歩に寄与するところが大きい。

#### 文 献

- 1) 波岡 武: 分光研究, **22** (1973) 363.
- 2) R. H. Hamm, R. A. MacRae and E. T. Arakawa: J. Opt. Soc. Am., **35** (1965) 1460.
- 3) H. J. Hagemenn, W. Gudat and C. Kunz: DESY Report SR-74/7, May (1974).

(1985年7月23日受理)