

実験技術

斜入射回折格子分光器の出射光中の
高次光・散乱光の評価方法

齊藤 則生・鈴木 功

電子技術総合研究所

1. はじめに

シンクロトロン放射利用の発展にともなって、真空紫外線、軟X線領域の単色光を得るための斜入射回折格子分光器システムには、種々の工夫が試みられ、多くの型が用いられている。それら分光器の性能を比較・検討をするのに、以下の三つが主要評価項目とされている。

- ① 出射光強度。明るい分光器にするため、光学素子数、反射角等を工夫する。
- ② 分解能。スペクトル中の微細構造を調べるために、高い分散の回折格子、収束性のよい光学系を用いる。
- ③ スペクトル純度。スペクトル純度が悪いと、測定したスペクトル中に偽りの構造が現われたり、測定データ自身の誤差がきわめて大きくなってしまふ。このため、光学素子の反射角を適切に設定して高次光を減らしたり、薄膜フィルタによって散乱光を減少させたりする。しかし、どの場合にも適用できる完全なものはなく、通常測定するスペクトル範囲に応じ、様々な工夫を凝らして、①と②の項目との妥協点で測定が行われている。

従ってスペクトル純度を正確に評価しておくことは、データの解釈及び信頼性において、必要不可欠なことと思われる。ところが通常の評価方法は煩雑な操作が必要なため、スペクトル純度を厳密に評価した例は極めて少ない。^{1, 2)}

軟X線領域(数100eV領域)におけるスペクトル純度評価方法としては、次のものが考えられる。

- (1) 吸収係数既知の気体の吸収率を気体圧力の関数として測定する。²⁾ この場合透過光強度の対数は、スペクトル純度100%の時、気体密度に対して直線になるので、直線からのずれからスペクトル純度を評価する。
- (2) 価電子数の少ない気体(Ne等)の光電子スペクトルを測定する。^{3, 4)} 散乱光や高次光があるとそれに対応する構造が光電子スペクトルに現われる。気体の光電子スペクトルを正確に測定するには、十分な強度の出射光が必要であり、またエネルギーの相当異なる光電子に対する検出効率を正確に求めておくことはかなり難しい。
- (3) 炭化水素分子をフローさせてある薄膜窓付き比例計数管を用いて、その出力パルスの波高分布から評価する。この方法は、比較的簡単な操作で、また測定時間もわずかですむので、広い波長範囲にわたって短時間でスペクトル純度を評価することができる。
- (4) 薄膜の吸収スペクトルを測定し、その構成元素の内殻吸収端の段差から高次光成分の割合を評価する。最も簡単な方法であるが、限られた波長においてだけ使えることと定量性にかけることが欠点である。

ここでは、電総研での分光器出射光のスペクトル純度を評価した経験に基づいて、(3)の比例計数管による方法を紹介することとする。

2. 比例計数管の原理

比例計数管は図1のような構造をしており、数10Torrから数100Torrの範囲で気体（メタン等）を内部に導入する。比例計数管の前面に装着してある薄膜窓から軟X線を入射させる。比例計数管内に導入してあるガスは入射軟X線を吸収して光電子やオージェ電子を放出する。それらの電子は大きなエネルギーを持っているので、他の気体と衝突することにより気体をイオン化する。さらに衝突を繰り返すことにより多くのイオンと電子（二次的電子）が生じる。中央の細い芯線（太さ：50 μ m）に正の高圧（1kV程度）をかけておくと、これらの電子は芯線に向かって加速され、気体中に電子雪崩が起きる。電子雪崩によって電子は増幅されて、芯線に到達する。それらの電子をパルスとして芯線から取り出す。このパルスの大きさは、統計的なゆらぎによる広がりを持っているが、その平均は、軟X線を吸収したときに生じる光電子、オージェ電子及び二次的電子の数の総和に比例する。この二次的電子等の総数(N)は、軟X線のエネルギー(E)と光子に対するW値

(W)と次の関係にある。

$$N=E/W$$

W値とは、1個の電子・イオンペアを作るのに必要な平均のエネルギーとして定義されている。硬X線に対して、W値は一定の値になる。軟X線に対して、W値は軟X線のエネルギーの減少と共に数パーセント増加する場合もある⁵⁾。しかし近似的には電子の総数は軟X線のエネルギーに比例する。つまりパルスの波高値の平均は入射光のエネルギーにおよそ比例する。

分光した光の中に含まれる高次光や散乱光は、一次光とエネルギーが大きく異なるので、パルスの波高値の分布が一次光の分布と分離する。このことを利用して出射光強度に対する散乱光・高次光の強度を見積ることができる。

3. 測定における留意点

図2に、我々の用いた測定装置のブロックダイヤグラムを示す。^{1, 6, 7)} 斜入射分光器から出射した単色軟X線は、差圧排気システム及びフィルター槽を通して比例計数管に入射する。測定する際に、注意すべき主な点は次のようなものである。

- 1) 用いた窓は、VYNS薄膜（ビニルアセテートとビニルクロライドの共重合体、厚さ25 μ g/cm²、光透過率60パーセントのNiメッシュで支持）で、小さいピンホールのためリークする可能性があるため、前段に差圧排気系を備えることが望ましい。
- 2) 気体は、パルス波高分布が狭いメタン等の炭化水素分子を用いると良いが、気体中で100パーセント光子ビームが吸収されるよう、波長によっては、アルゴンを少量混合したものを用いること。
- 3) 気体の純度が悪くなったり、圧力が変わっ

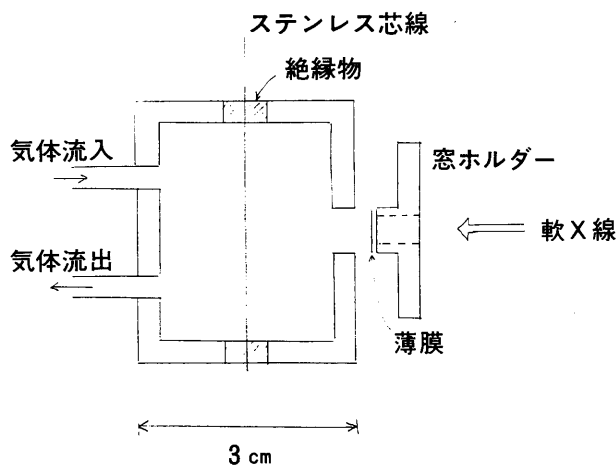


図1 円筒型比例計数管の断面の概略図。

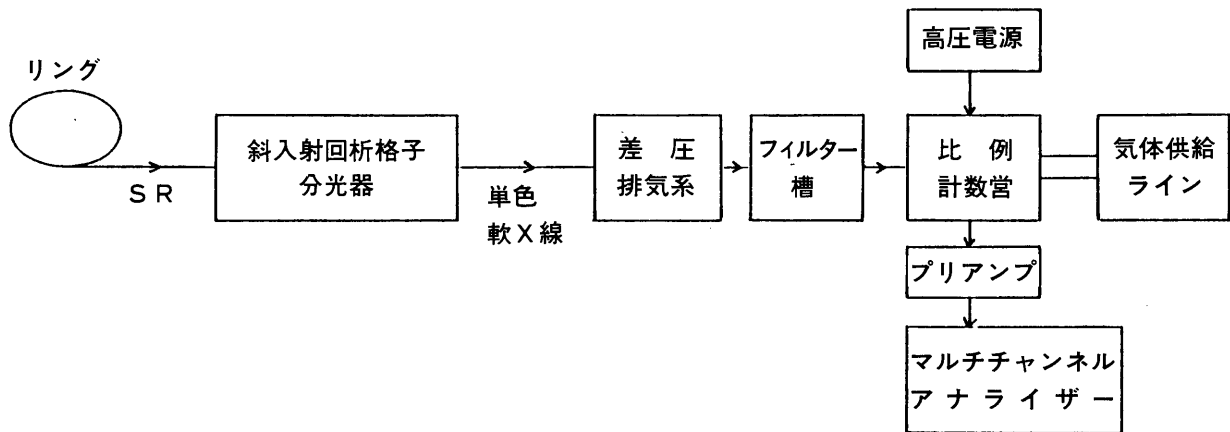


図2 比例計数管を用いたスペクトル純度測定システムのブロックダイアグラム。

たりすると、偽パルスが生じたり、パルス波高がずれたりするので、気体はフロー型で使い、供給ラインはリークをなくし、また十分圧力を安定させること。

- 4) 比例計数管は、光子ビーム強度が 10^4 個/秒程度より大きいと、パイルアップを起こすので、入射ビーム強度は適度に減少させること。
- 5) 薄膜窓の耐圧には十分気を使い、はじめのフロー開始、終了時の排気の際は、特に注意すること。

我々が行なった測定においては、比例計数管には市販のManson-04というプリアンプ直結型のもの、窓はManson社製のものを用いた。

4. 測定結果

図3に比例計数管からのパルス波高値の分布の例を示した。軟X線の波長は 30\AA である。横軸は測定に用いたマルチチャンネルアナライザーのチャンネル数を表しており、比例計数管からの出力パルスの波高値に対応する。縦軸はチャンネル数に対応するパルス波高値を出力した軟X線のカウント数を表している。この波長領域では比例計数管の分解能が悪いために、単色の軟X線でもパルス波高分布は図3のように広がってしまう。 30\AA の軟X線はピークのチャンネル数が250の分布

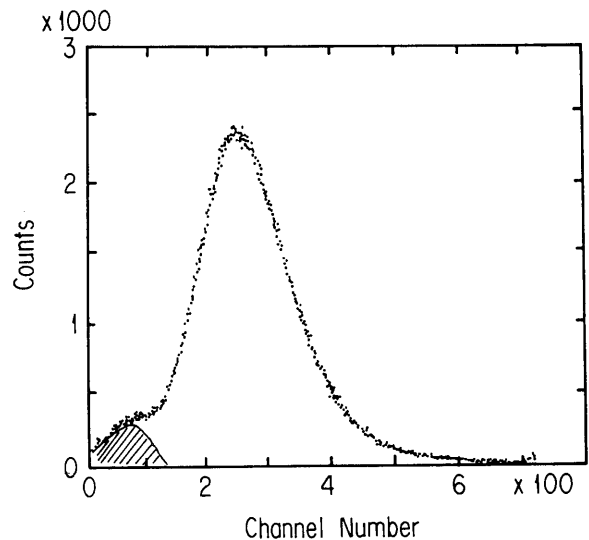


図3 比例計数管の出力パルス波高分布。入射波長は 30\AA 。斜線部は散乱光成分を示す。

に対応し、散乱光はピークのチャンネル数が80の分布（斜線を引いた分布）に対応している。 30\AA の波長では2次光は観測されていないが、もし2次光があれば、ピークのチャンネル数が1次光の250の2倍の500付近の分布が生じることになる。図3より 30\AA における全光子強度の6パーセントが散乱光であると見積ることができる。この値は、計数管窓を透過した散乱光成分を意味している。窓によって減衰されていない出射光の純度を知りたい場合は、窓の散乱光、1次回折光に対する透過率を測定しておけばよい。A1のフィル

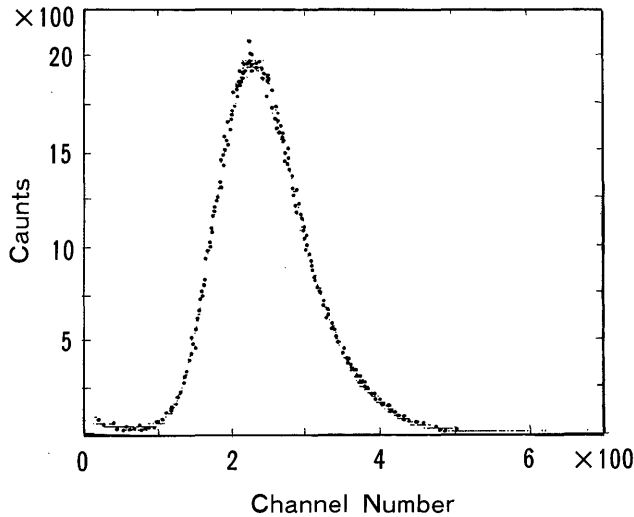


図4 比例計数管の出力パルス波高分布。入射波長は 30\AA 。A1フィルターが用いられている。

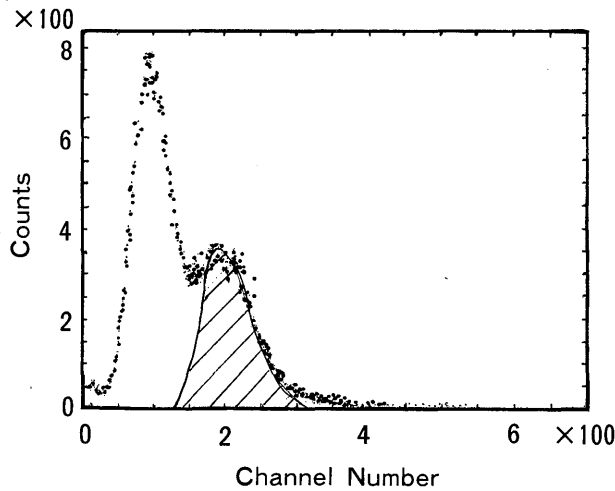


図5 比例計数管の出力パルス波高分布。入射波長は 41\AA 。斜線部は二次光成分を示す。

ター（厚さ 1500\AA ）を用いると、この散乱光を完全に除去できる（図4参照）。

純度の悪い例として、図5に 41\AA でのパルス波高分布を示す。光学素子の表面に付着した炭素の汚れのため、炭素の吸収が強くなって一次光を減少させ、相対的に二次光が強くなっている。強度比の計算においては、二次光は気体の吸収係数が小さいことを考慮しておく必要がある。着目するエネルギーが高くなってくると、窓の耐圧不足のため、気体の圧力を上げられず、また重い希ガス

を混合しても気体中での完全吸収を達成できないこともありうる。その場合には、気体の吸収係数の文献値を基に評価することになる。⁸⁾

5. おわりに

斜入射分光器の出射光中の散乱光、高次光の評価方法について述べた。この評価方法は、炭化水素分子を充填した比例計数管のエネルギー分解力と、薄膜窓の比較的高い透過率に基づいている。この波長領域においては、フィルターによってスペクトル純度を向上させることが多い。その際の効果も、この比例計数管による方法によって、正しく容易に評価することができる。また、ここで述べたような測定システムを用いてパルス波高分布の一次光成分だけを利用することにより、透過率、反射率等を、入射光の純度を気にせず正確に測定することができる。

参考文献

- 1) 齋藤則生, 鈴木功, 小貫英雄, 西師毅, 電総研彙報, 53, 390 (1989).
- 2) J.B.West, K.Codling and G.V.Marr, J.Phys. E, 7, 137 (1974).
- 3) H.Maezawa, Y.Suzuki, H.Kitamura and T.Sasaki, Appl.Opt.25, 3260 (1986).
- 4) 桜井誠, 森田茂, 米津宏明, 藤田順治, 福井一俊, 酒井楠雄, 中村永研, 渡辺誠, 山下広順, 石黒英治, 放射光, Vo1. 2, No.4, 13 (1989).
- 5) I.H.Suzuki and N.Saito, Bull.Chem.Soc.Jpn., 60, 2989 (1987).
- 6) N.Saito, I.H.Suzuki, H.Onuki, M.Nishi, Rev. Sci.Instr.60, 2197 (1989).
- 7) 齋藤則生, 鈴木功, 電総研彙報, 49, 691(1985).
- 8) B.L.Henke, P.Lee, T.J.Tanaka, R.L.Shimabukuro and B.K.Fujikawa, Atom. Data Nucl. Data Table, 27, 1 (1982).