

図1：2本のファイバを通過した単一波長の光の出射面における形状。

空間分解能

空間分解能とは、イメージング分光器がスペクトル軸に垂直な2点を見分ける能力を指します。これらは、標準の測定方法はありません。分離可能な独立したファイバ光源の数を指すメーカーもありますが、これは特定のファイバ径でのみ有効であり、ひとつのチャンネルから近傍への信号漏れは表しません。

最も重要な測定方法は、収差に限定される空間分解能です。この値は、分解可能な最小点の半値全幅で定義されます。有効な点光源（通常、10~25 μmのピンホール）を入射スリットに置き、機器のFナンバーで照射したときのスペクトル軸に垂直なFWHMを測定します。77702/77780イメージング分光器では、この値は40μmです。

WEB 詳細は当社のWebサイトを参照してください。

モノクロメータのスループット Monochromator Throughput

次に、スループットの計算例を2つ示します。これらの2つの例を検出システムにおけるモノクロメータのパワーまたはスループットの予測に役立つことが目的です。若干異なる事例を2つ紹介していますが、弊社の光源や発光サンプルの大部分に適用可能です。

モノクロメータのスループットの計算方法は、次のようにまとめられます。

$$P_0 = P_i V F E_m R^4$$

ここで、

$$P_0 = \text{出力パワー mW}$$

$$P_i = \text{スリット面における入射パワー mW}$$

$$V = \text{スリット開口径が光源のイメージより小さいことによる開口効率}$$

$$F = (\text{照射光Fナンバー})^2 / (\text{モノクロメータFナンバー})^2$$

(照射光のFナンバーとモノクロメータのFナンバーとは一致しません。照射光のFナンバーとモノクロメータのFナンバーが一致する場合、F = 1となります。)

$$E_m = \text{回折効率}$$

$$R = \text{モノクロメータのミラー1枚の反射効率。}$$

$$R^4 = \text{4回反射することを意味します。}$$

通常、波長に伴って大きく変化するのは P_i および E_m のみですのでご注意ください。

その他の要素

複雑さを回避するため、幾つかの検討事項を省略しました。状況に応じて、これらの2次の考察が重要となる場合があります。以下に、その他の要素をご説明します。

Fナンバーマッチャー

これはモノクロメータのスループットを改善し、迷光を低減するために使用します。しかし、使用方法に注意が必要です。Oriel 77259Fナンバーマッチャーは、特にファイバと共に使用した場合、スループットは約75%であり、照射ビームのFナンバーを、ファイバから直接射出する光のFナンバーの2倍に増加させます。また、照射光源の見かけの線寸法を2倍に拡大します。モノクロメータのスリットにより口径食が増大する場合があるので、最終的なスループットが増加するとは限りません。

光源の強度分布

一定の矩形ランバート光源を仮定することで、分析が大幅に単純化されます。実際の光源はこの理想的な光源には適合しません。場合によっては、アーク光源の高強度領域を有効に活用できます。

レンズ損失

レンズの表面からのフレネル反射はパワーを失わせますので、重要な場面では反射防止コート付のレンズを使用してください。レンズ取差は正確なイメージングを妨げます。光源が小型で、Fナンバーが低い場合、光源の期待画像よりも大きな不鮮明な円形領域を生みますので、大きな問題となります。

モノクロメータの歪像

モノクロメータの回折格子は、適切な分散が得られるように傾いております。これはつまり、許容錐体が実は波長依存の矩形であり、出射部での入射スリットの像は、回折格子の傾きによって入射スリットよりも狭い、または広いということです。これは回折格子のチルト角が大きい場合や、最適な性能を得るために異なるスリット幅が必要な場合に重要になります。弊社の可変スリットを使用すると、スリット幅を簡単に最適化することが可能です。

周辺光線損失

単純な光学スケッチを描けば、光線がモノクロメータの許容円錐角内でスリットに入っても、入射部位がスリットの上部および下部であると、集光部位に入らないことがわかります。入射スリットにフィールドレンズを置くと、この損失を低減することができます（フィールドレンズを出口スリットに置いた場合は光学検出の向上が可能です）。ほとんどの単一波長光源ではアークやフィラメントの強度が小さいため、この解決方法に利点はありませぬ。

偏光

回折格子は複雑な偏光効果があり、s偏光、p偏光ではさらにその効率が高まります。入射光が無偏光でもパワースルーブットに影響はありませんが、出現する単一波長のビームは部分的に偏光されます。偏光の程度は波長に依存します。これらの現象は、放射分析およびスペクトル分析の誤謬をまねく可能性もあります。

例1

77700 MS257™を450 nmのモノクロメータとして使用したときに得られる出力を推定します。150ワットのキセノンアークランプ、0.6 mmのスリット、66919光源および77742回折格子を使用します。光源にはF/0.85のコンデンサが搭載されています。コンデンサのビームが入射部に配置した焦点距離127 mmのレンズで集光され、モノクロメータの入射部に入ります。

最初のステップでは、スリット面に到達するパワーを推定します。光源とランプハウジングのページに、レンズの増倍係数の一覧が記載されていますので、そこから任意の波長における光源のパワーを推定できます。

波長450nmでは、150ワットキセノンランプからの照射光は14.5 mW m⁻² nm⁻¹（距離50cm）であり、レンズ変換係数は0.13です。そこで、最初のレンズを透過した後のビームは波長450 nmで~1.9 mW nm⁻¹です。光源には照射光を約60%増大させる後方リフレクタがあるので、ビームパワーは3 mW nm⁻¹と推定します。また、2番目の集光レンズの透過率が約0.9であることに注目してください。

アークの大きさは0.5 mm x 2.2 mmです。重要なポイントは、このアークの大きさでは、合計照射量の60%しか生産されないということです。アークから外れた場所で残りの40%が生産され、すべての領域を合計すると3 mWの数値となります。このため、光源の大きさを0.5 mm x 2.2 mmとして計算した場合に得られる1.8 mW nm⁻¹をベースにします。

前ページの例における計算パターンに従うと、このオプティクスはスリット上の光源のイメージを3.9/0.85 = 4.6倍に拡大します。そこで、光源のイメージサイズは2.3 x 10.1 mmとなりますので、イメージ照射を一定と仮定すると、開口効率 (V) を使用してスリットを通過するイメージパワーの割合がわかります。また、光源のイメージがスリットより広い（ただし高くはない）ので、次の式が成り立ちます。

$$V = \frac{a}{mW}$$

$$V = \frac{0.6}{2.3} = 0.26$$

これで、波長450 nmの光がモノクロメータに入射したときのパワー (nm⁻¹) を推定することができます。

$$1.8 \text{ mW nm}^{-1} \times 0.9 \times 0.26 \sim 0.42 \text{ mW nm}^{-1}$$

0.6 mmのスリットは帯域幅に対応しますので、波長450 nmで帯域幅2.02 nmの光がモノクロメータに入るときのパワーは、次の式で求められます。

$$0.42 \times 2.02 \sim 0.85 \text{ mW}$$

出射パワー

アルミニウムに対する回折効率は0.7ですので、実際の回折効率はおよそ次の式のとおりとなります。

$$0.7 \times 0.88 = 0.62.$$

横方向の構成では、光はモノクロメータ内の4枚のアルミ蒸着ミラーで反射されます。各ミラーの反射率は波長450nmで約0.88ですので、出力は次の式で求められます。

$$0.85 \text{ mW} \times 0.62 \times 0.88^4 \sim 0.32 \text{ mW}$$

測定値は0.24mWですので、単純化するために仮定を数多く行ったことを考慮しても良好な一致が見られました。

例2

77250 1/8 mモノクロメータを使用し、7340モノクロメータ照射器で model 6332 50 W QTHランプを動作させたときの波長500 nm、帯域幅10 nmでのパワーを推定します。

77298回折格子を波長350 nmでプレーズ化すると、最高性能が得られます。10 nmの帯域幅に対応するスリット幅は1.56 mmです。最初のステップとして、7340モノクロメータ照射器内のミラーで集光した光の量を推定します。Oriol®スペクトル照射データ上のスペクトル曲線情報から、ベアランプから50 cmの距離の照射パワーは7 mW m⁻² nm⁻¹であるとわかります。

10 nmの帯域幅におけるパワー密度は70 mW m²です。照射器のミラーのサイズは6.35 x 6.35 cmであり、光源から13.3 cm離れていますので、逆二乗の法則を用いて集光パワーの概算を求めることができます。

$$\begin{aligned} \text{照射量} &= \frac{50^2}{13.32^2} \times 70 \text{ mW m}^{-2} \\ &= 0.99 \text{ W m}^{-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{集光パワー} &= \text{放射照度} \times \text{ミラー一部} \\ &= 0.99 \times 0.0635^2 \\ &\sim 4 \text{ mW} \end{aligned}$$

入射スリットを通過するパワー

収集したパワーの、大部分がモノクロメータのスリット面に向けて反射されます。反射効率は約88%です。スリット面とミラーの距離は24 cmなので、光源イメージと光源サイズとの比率は次の式で求められます。

$$24/13.3 = 1.8$$

光源の大きさは1.6 mm x 3.3 mmなので、イメージのサイズは2.9 mm x 5.9 mmとなります。イメージが一定であると仮定すると、スリットを通過する割合を単純な幾何学的計算で求めることができます。

$$\frac{1.56}{2.90} = 0.54$$

1.56/2.90の因数は、例1と同様に開口効率を求めています。そこで、スリットを透過するパワーは、次の式で求めることができます。


$$0.88 \times 0.54 \times 4 \text{ mW} = 1.9 \text{ mW}$$

モノクロメータを通過するパワー

7340ミラーからの光は、モノクロメータの回折格子から、はみ出さず入射されます。回折格子が30mm角で、モノクロメータの焦点距離が125 mm、ミラーとの距離が上記の場合、幾何学的計算から82%の光が回折格子に照射されることがわかります。回折効率は波長500 nmのとき約0.6であり、4枚のミラー表面それぞれの反射率は約0.88なので、合計透過率は次のように導くことができます。

$$0.82 \times 0.65 \times 0.88^4 = 0.32$$

[overflow]は、ミラーからの光が回折格子全体に十分に行き渡るとい意味と解釈しました。出力パワーの計算値は、 $0.32 \times 1.9 \text{ mW} = 0.61 \text{ mW}$ で、実際の測定値は0.5 mWでした。この誤差の原因の一部は、計算全体で近似法を使用したことによるものです。モノクロメータから出る光はピラミッドのように6.8度の半角で広がります。

 詳細は当社のWebサイトを参照してください。

FT-IR分光法紹介

Introduction to FT-IR Spectroscopy

FT-IR スペクトロメータはNIRからFIRまでの広帯域なスペクトルを捉える計測装置です。分散測定器（回折格子のモノクロメータや分光器）と異なり、FT-IRスペクトロメータはすべての波長を同時に収集します。この機能は多重化利得またはフェルグット利得と呼ばれます。

FT-IRスペクトロメータはFT-IRと呼ばれる場合がほとんどです。厳密に言うとFT-IR（フーリエ変換赤外線）は赤外スペクトルを得るための方法です。まず干渉計を使用してサンプル信号のインターフェログラムを収集し、次にそのインターフェログラムにフーリエ変換（FT）を行ってスペクトルを得ることを指します。FT-IRスペクトロメータはインターフェログラムを収集し、デジタル処理してフーリエ変換を行い、そのスペクトルを表示します。

FT-IRスペクトロメータを使用する理由

次に該当する項目がある場合、分散測定器ではなくFT-IRを選択してください。

- 赤外領域が研究対象
- 高いスペクトル分解能が必要
- 弱い信号が研究対象
- 迅速なスペクトル測定と高S/N比が必要
- 高いスペクトル精度が必要

FT-IRにはこれらのカテゴリーを得意とする強い理論的理由があります。お客様のアプリケーションでこれら潜在的な長所をどの程度実現できるかは、装置の設計と測定条件に大きく依存します。

FT-IRスペクトロメータの動作方法

マイケルソン干渉計

一般的に、FT-IRは図1に示すようにマイケルソン干渉計をベースにしています。この干渉計は、ビームスプリッタ、固定ミラー、前後方向に極めて精密に移動するミラーで構成されます。ビームスプリッタは特殊な材料で作られており、照射光の半分を透過させ、残りの半分を反射します。光源から出射された照射光はビームスプリッタにぶつかり、2つのビームに分かれます。片方のビームはビームスプリッタを透過して固定ミラーに向かい、他方はビームスプリッタで反射して可動ミラーに向かいます。固定ミラーと可動ミラーは照射光を反射してビームスプリッタに戻します。この反射された光の半分が再びビームスプリッタを透過し、残りの半分が反射されます。その結果、一方のビームは検出器に向けて通過し、他方のビームは光源に戻るようになります。

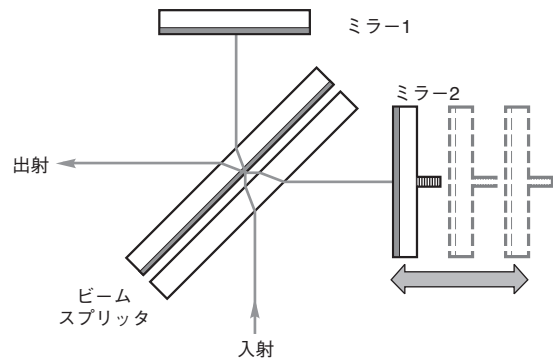


図1：汎用マイケルソン干渉計の概略図。