

さらなる溝の追加なしに改善された回折格子分光計の分解能

回折格子分光計で使われている回折格子の溝または線間隔は入射光の波長の1/2が限度であるため、分光計の分解能を改善するために多数のハイブリッド技術、例えば、回折格子とファブリ・ペロー干渉計または格子分光器との統合や、回折格子とフレネルレンズの組み合わせまでも開発された。しかし、これらのハイブリッド設計はメカニカルな走査が必要であり、応答がスペクトル的に変動し、場合によってはデータの後処理が必要になる。韓国標準科学研究所 (KRISS) の研究チームは、これらの機械的走査が必要な装置を使うハイブリッド設計ではなく、平面平行反射鏡を使用する純粋に光学的な方法を開発し、2対の反射鏡を利用することで回折格子分光計の分解能が4倍に増加することを実証した⁽¹⁾。

並進対称性の利用

回折格子は並進空間運動の下で対称である。二重反射によって回折格子から回折されたフィールドを並進させるための平面平行反射鏡対を回折格子の上または直上に配置させると、この反射鏡対はオリジナルな回折格子のそばにもう1つの仮想回折格子を作り出し、溝の数を2倍に増やす(図1)。さらに反射鏡対を追加すれば、溝の数がさらに2倍になり、分光計の分解能は実際的な実施限界に達するまで改善されることになる。

この実験では、回折格子に入射した平面波は、平面鏡M1上へと回折され、その光の50%が第2の平面鏡M2の方向に反射されて、効率の良い入射光の

並進を起こす。オリジナルの回折されたフィールドと並進したフィールドが同じ位相を持つ条件を見出すために格子方程式を解き、回折格子面に対する反射鏡の最適角度と物理的間隔を計算した。例えば直角入射の場合、反射鏡の間隔は格子サイズの半分であり、反射鏡面は格子面に対して90°であった。入射ビームが斜めになるにつれて、反射鏡の角度も90°から逸脱した。

平面鏡セットアップを使ってスペクトル分解能改善を実証するために、7×5mmの方形アパーチャを830溝/mmの回折格子に配置した。シングルモードファイバ(開口数0.12)を通して送られた300kHz以下の線幅を持つ波長可変ダイオードレーザを使って入射平面波を作った。反射率50%の広帯域誘電体コーティングを1mm厚のガラスプレートの片面に施して、反射鏡M1を作製した。全体的に銀をコーティングしたガラスプレート(反射率100%)から反射鏡M2を作製し、M1から3.5mm離して配置した。反射鏡が平行であることを保証するためのアラインメントを慎重に行った後、入射レーザ波長を変えて、出力をCCDセンサの平坦面に一連の回折限界スポットとして記録した。これらのスポットの半値全幅はスペクトル線幅 $\Delta\lambda$ に相当する。

公称的にアラインメントされた平面鏡M1とM2の第1の対では、 $\Delta\lambda$ は回折格子だけのフィールドに比べて1/2に減少することが実験で観測された。このデモンストレーションにおいて、平面波の入射角は5.5°であった。この入射角で最適な反射鏡の角度は86°と計

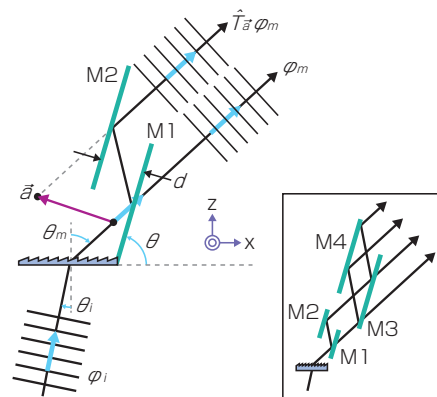


図1 回折格子に接近させて平面反射鏡対(M1とM2:M1は反射率50%)を追加すると、溝の数が2倍になり、分光計の分解能を改善するフィールド並進効果が生じる。追加の反射鏡対(M3とM4:M3は50%の反射率)は分解能をさらに2倍にする(挿入図)。

算されたため、反射鏡は回折格子面の法線方向から4°傾斜させた。研究チームは2対の反射鏡を使って4倍の分解能改善も実証した。

KRISSの主任研究員であるイ・ウンソン氏は、「ラマン分光法や蛍光分光法などの用途で使われている回折格子ベースの高分解能分光計は大きい内部回折格子により必然的に大型になる」と語っている。「われわれの技術は、分解能の犠牲なしに、これらのシステムをよりコンパクトにするのに役立つ。たった1対の反射鏡でさえ、分光計の寸法は幅と厚みにおいてかなり小型化される。セットアップを改良し、反射鏡対のアラインメントを保証するために、われわれのチームは、反射鏡と回折格子を1つのデバイスに統合する研究をさらに続けている」と付け加えた。
(Gail Overton)

参考文献

- (1) E.S. Lee, Opt. Lett., 36, 24, 4803 (Dec. 15, 2011).