

回折格子分光器のゴースト

[研究代表者] 澤木宣彦 (工学部電気学科)
[共同研究者] 岩田博之 (工学部電気学科)

研究成果の概要

化合物半導体の光スペクトル評価には回折格子が使われる。19 世後半に開発された回折格子はその後数々の改良が加えられ、現在ではレーザホログラフィー法や電子ビーム加工法などにより極めて高精度な製品が造られるようになった。天文学における赤外分光から X 線分光に至るまで回折格子は無くしてはならないデバイスであるが、回折光の他に迷光やゴーストと称されるノイズをゼロに出来ないのが現状である。化合物半導体ではその結晶品質向上に伴いバンドギャップ光の強度が強くなる一方、僅かな不純物等による弱い長波長発光の評価が必須の課題となってきた。本研究では回折格子のゴーストに焦点を当て、そのスペクトルをフーリエの方法による統一的分析手法で評価を試みた。愛工大総合技術研究所に設置された回折格子のスペクトルを測定したところ、既知のローランド型あるいはライマン型のゴーストと解釈されるものが多かったが、従来理論で説明できないブロードなゴーストがあることが分かった。

研究分野：半導体材料物性工学

キーワード：化合物半導体材料、分光器、回折格子、光スペクトル、迷光、ゴースト

1. 研究開始当初の背景

化合物半導体の特性を非破壊で評価する最も簡便な方法である光スペクトル評価には分光器が使われる。分光器の心臓とも言える回折格子の作製精度は近年富に向上し、作製誤差により発生するゴーストや分光器の構造由来の迷光等の障害は著しく改善され、市販の装置ではほとんど考慮する必要が無いまでになってきた[1]。しかし、近年、化合物半導体の高品質化に伴いバンドギャップ光の発光強度が増大したため、不純物や欠陥等に起因する光スペクトルとの相対強度比が増大し、迷光やゴーストの弊害がクローズアップされることとなった。高精度の回折格子が提供されているにもかかわらず、バンド端発光に付随するゴーストの強度が 1/1000 程度に達する場合には不純物由来の発光強度と競合し、光スペクトルの精密な評価の大きな障害となる。そのため回折格子由来のゴーストの性質を理解しておく必要がある。

2. 研究の目的

総合技術研究所に設置されている回折格子型分光器

を例に、回折格子の作製誤差から発生するゴースト成分を測定し、その特性を解析することにより、高輝度発光材料の特性解析における留意点を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) ゴーストの種類と解析手法

回折格子特有のゴースト研究の歴史は古く、1890 年代にまで遡る。発見者の名前を冠して、ローランドゴースト、ライマンゴーストの 2 種類が代表的なものとして知られている[2]。本研究ではまず、この 2 種類の性質を精査した。前者は基本回折光の近傍に発生するものでラマン散乱スペクトルの評価時に重要な障害となる。後者は、基本回折光の中間に広く分布して発生するもので、半導体材料の不純物解析、特に深い準位からの発光解析時に重要な障害となる。実際のスペクトル解析では両者が混在するため統一的な解析が出来るようにしておくことが望ましい。本研究ではフーリエ解析の方法を進展させ、ローランド型、ライマン型双方に適用できる解析

手法を検討した。

(2) 実機でのスペクトル測定・

ゴーストの特徴は、光スペクトル上に存在しない波長域に回折光が出現する現象である。この性質を利用して、単一波長で発振するレーザー光を光源として、受光器上のスペクトル波形を測定し、ゴーストの性質を評価することとした。正規回折光（1次光、2次光など）の中間域に観測される微小ピークを詳細に測定・解析し、正規回折光との相対関係を計算し、フーリエの方法との一致・不一致を評価した。

4. 研究成果

(1) ゴーストのフーリエ解析手法

回折格子の周期を d とすると波長 λ の入射光に対して正規回折光は $2d \sin\theta = n\lambda$ を満たす角度 θ 方向に観測される。回折格子の基本周期に微小な乱れがあるとき、この乱れをフーリエ展開して得られる回折条件は、 $2d \sin\theta = (n \pm m\Delta/2\pi)\lambda$ の形で与えられることが分かった。ここに、 n は回折線のオーダー（次数）で、 m は任意の整数である。即ち、ゴーストは回折格子の作製揺らぎの形状により各オーダー間のどこにでも出現でき、その強度は、揺らぎ Δ のフーリエ成分の振幅により決定される。この式によれば、ローランドゴーストは、揺らぎ Δ が基本周期よりかなり長周期の場合に、ライマンゴーストは基本周期より僅かに長い周期を持つ場合に出現すると整理できる。いずれも、整数 m により特徴づけられるため、オーダー間で周期的に観測されることを示している。

(2) 実機回折格子による測定結果

供試回折格子として、焦点距離 30cm、刻み数 1200 l/mm で、ブレイズ波長 B が 500nm と 750nm の 2 種類を用いた。試験光源として、半導体レーザー（赤色 653nm と緑色 532nm）を使った。結果の一例を図 1 に示す。この例では、1 次回折線が 532nm に、2 次回折線が 1064nm に現れるが、ブレイズ波長 500nm の回折格子では、その中間に 1 次光の 1/2000 程度の強度を有する複数のピークが見える。入射レーザー光は単色光であるため、これらの信号は全てゴーストと判断される。

(3) フーリエ解析の方法との比較・残された課題

これらのゴーストと見られるピークは、入射光の波長

を λ とすると、 $(n \pm l/m)\lambda$ の位置に 1 次光あるいは 2 次光を中心として対称的に出現していることが分かった。ここに n は基本回折光の次数、 m はゴーストの次数、 l は整数であり、フーリエの方法による特徴を再現した。

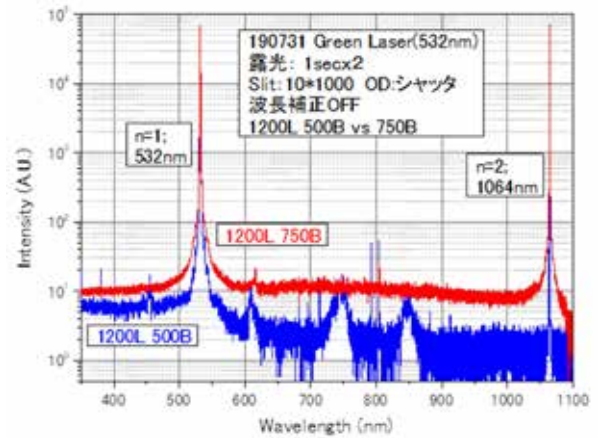


図 1 回折格子のスペクトル

ローランドゴーストは、長周期の乱れを起源とするため、基本回折光（図では 532 または 1064nm のピーク）の極近くに対称的に出現するものとされていることから、図 1 に見られる複数のピークはほとんどがライマンゴーストと解される。しかし、ライマンの解析[3]によればそれらは単峰の周期的な系列を作るとされている。図 1 の複数のピークの中にはライマンゴーストとして解釈できる離散的で周期的なシャープなピーク列もあるが、605nm、750nm、850nm 当たりに見られるブロードなバンドル型ピークの報告例は見当たらない。この起源については今後さらに詳細な検討が必要である。

この研究は、本学紫外可視赤外分光光度計（顕微分光型）を利用し、電気学科岩田教授と「GaN の格子欠陥」について研究を進める過程で見出されたゴーストについて詳細を調べたものである。研究の機会を与えて下さった総合技術研究所の関係者、並びに、議論に加わって頂いた日本分光株式会社の方々に感謝申し上げます。

5. 参考文献

- 1) C. Palmer and E. Loewen, *Diffraction grating handbook*, Newport Co., 2005.
- 2) C.H. Meyer, *The diffraction of light, x-rays, and material particles*, Edwards Brothers Inc., 1949.
- 3) T. Lyman, Proc. American Academy of Arts and Sciences, **39** (1903) 39.