

学 位 論 文 題 名

Study on characteristics of PR grating in orthogonally polarized FWM and its application

(直交偏波 4 光波混合における  
ホトリフラクティブ屈折率格子の特性とその応用)

学位論文内容の要旨

この論文はホトリフラクティブ結晶内での直交偏波 4 光波混合(OPP-FWM)を屈折率格子の挙動に重点をおいて研究した成果をまとめたものである。主要部分は 3 部に分けられ、第 1 部(第 2 章, 第 3 章, 第 4 章, 第 5 章)では、定常状態の解析、第 2 部(第 6 章, 第 7 章)は時間応答解析、そして第 3 部(第 8 章)はその応用について書かれている。

第 1 部

第 2 章では、常光線を用いた場合の結合係数、および異常光線を用いた場合のそれを計算している。ここでの計算は、これまであまり考慮されていなかった光弾性の効果をも含めたポッケル係数を用いている。この計算により OPP-FWM の結合係数が求められ、さらに結合係数が最大となる条件も求められている。

第 3 章では OPP-FWM の結合波動方程式を解析的に解いている。解析的に解くために、書き込み光すなわちポンプ光 1 とプローブ光は結合せず、その振幅と位相には変化が無いという仮定を用いているが、この仮定は実際の OPP-FWM の良い近似になっている。透過形配置と反射形配置とについて解き、屈折率格子の 2 つの成分の相対位相は 0(同相: IPCG)と $\pi$ (逆相: OPCG)の二つの場合のみ存在することを証明し、その相対位相が回折効率と反射効率に与える影響を求めている。

第 4 章では、結合波動方程式を解析的な操作によりなるべく単純化し、第 3 章で用いた書き込み光には結合が無いという仮定を用いずに、数値解をシューティング法により求めている。この場合、3 章の解析的方法によるより、より広範なパラメータの範囲で数値解が求められる。書き込み光が結合していることによって帰還作用が表われるが、その作用が回折効率に与える影響が IPCG の場合と OPCG の場合について求められ、実験結果と比較検討されている。

第 5 章では、波動ベクトルのベクトルダイアグラムを用いた、OPP-FWM の位相整合の

とり方が述べられている。位相不整合量の影響が実験的及び理論的に調べられている。

## 第 2 部

第 6 章では、書き込み光を遮断した直後に回折効率が一度上昇する場合のあることを発見し、複数の時定数が関与していることを実験的に明らかにした。しかし従来のモデルではこれらを説明できないため、自由電子と正孔の両者が関与し、優勢な方の時定数が長く、劣勢な方の時定数が短いという新しいモデルを、時間応答解析のための電荷輸送モデルとして提案している。また、このモデルに基づいた数値計算が実験結果を適切にシミュレートできることを示している。

第 7 章では、第 3 章で述べた屈折率格子の 2 つの成分の相対位相の OPP-FWM における影響を詳細に調べている。前章で明らかにした一時的回折効率の上昇に関し、IPCG の場合と OPCG の場合について比較している。OPCG の場合には一時的回折効率の上昇は見られず、屈折率格子の消去時間が、IPCG の場合に比べて  $1/5 \sim 1/15$  程度に短くなり比較的高速になることを数値計算と実験の両面から明らかにしている。

## 第 3 部

第 8 章では OPP-FWM を自由空間光インターコネクションへ応用する可能性について述べている。ホトリフラクティブ効果によるスイッチは時間応答特性が悪いことが知られている。これは屈折率格子の形成あるいは消滅をスイッチングに用いるからである。しかし屈折率格子を形成した後にホトリフラクティブ結晶に電界を印加し、位相不整合を生ぜしめることによりスイッチングさせると、非常に高速なスイッチが実現できることが述べられている。すべての入射ビームが異常光線である通常の 4 光波混合、あるいは 2 光波混合においては外部電界を印加すると屈折率格子が書き換えられるため長時間外部電界を印加できない。しかし OPP-FWM では屈折率格子の書き換えが生じないため長時間の電界印加が可能である。対称性 4 mm をもつホトリフラクティブ結晶として  $\text{BaTiO}_3$ 、KNSBN および SBN を用いた場合を相互に比較し、 $\text{BaTiO}_3$  がもっとも小さな印加電界でスイッチング可能であることを理論的に予測している。更にこれらの結果を考慮して、高速に ON/OFF 可能な  $1 \times 1$  および  $1 \times 2$  光スイッチを提案している。

最後に以上をまとめて結論を述べている。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 島 瑛 人  
副 査 教 授 小 柴 正 則  
副 査 教 授 末 宗 幾 夫

学 位 論 文 題 名

## Study on characteristics of PR grating in orthogonally polarized FWM and its application

(直交偏波 4 光波混合における  
ホトリフラクティブ屈折率格子の特性とその応用)

この論文はホトリフラクティブ結晶内での直交偏波 4 光波混合(OPP-FWM)を屈折率格子の挙動に重点をおいて研究した成果をまとめたものである。主要部分は 3 部に分けられ、第 1 部(第 2 章, 第 3 章, 第 4 章, 第 5 章)は、定常状態の解析, 第 2 部(第 6 章, 第 7 章)は時間応答解析, そして第 3 部(第 8 章)は応用について書かれている。

第 1 部：定常状態の解析

第 2 章では、常光線を用いた場合の結合係数, および異常光線を用いた場合のそれを光弾性の効果をも含めたポッケル係数を用いて計算している。この計算により OPP-FWM の結合係数が求められ, さらに結合係数が最大となる条件も求められている。

第 3 章では OPP-FWM の結合波動方程式を解析的に解いている。書き込み光, すなわちポンプ光 1 とプローブ光は結合せず, その振幅と位相には変化が無いという仮定を用いて, 透過形配置と反射形配置とについて解析的に解いている。形成される屈折率格子の 2 つの成分の相対位相は 0(同相: IPCG)と $\pi$ (逆相: OPCG)の 2 つの場合のみであることを証明し, その相対位相が回折効率と反射効率に与える影響を求めている。

第 4 章では, 第 3 章で用いた書き込み光には結合が無いという仮定を用いずに, 結合波動方程式を解析的な操作によりなるべく単純化した後, シューティング法により数値解を求めている。この場合, 3 章の解析的方法によるより, より広範なパラメータの範囲で解が求められる。書き込み光が結合していることによって帰還作用が表われるが, その作用が回折効率に与える影響が IPCG の場合と OPCG の場合について求められ, 実験結果と比較検討されている。

第 5 章では, 波動ベクトルのベクトルダイアグラムを用いた, OPP-FWM の位相整合のとり方が述べられている。位相不整合量の影響が実験的及び理論的に調べられている。

## 第2部：時間応答解析

第6章では、書き込み光を遮断した直後に回折効率が一時的に上昇する場合のあること、および、複数の時定数が関与していることを発見している。しかし従来のモデルではこれらの現象を説明できないため、自由電子と正孔の両者が関与し、優勢な方の時定数が長く、劣勢な方の時定数が短いという新しいモデルを提案している。また、このモデルに基づいた数値計算が時間応答の実験結果を適切にシミュレートできることを示している。

第7章では、前章で明らかにした一時的回折効率の上昇に関し、IPCGの場合とOPCGの場合について比較している。OPCGの場合には一時的回折効率の上昇は見られず、屈折率格子の消去時間が、IPCGの場合に比べて1/5～1/15程度に短くなり比較的高速になることを数値計算と実験の両面から明らかにしている。

## 第3部：応用

第8章ではOPP-FWMを自由空間光インターコネクションへ応用する可能性について述べている。ホトリフラクティブ効果によるスイッチは時間応答特性が悪いことが知られているが、それは屈折率格子の形成あるいは消去をスイッチングに用いるからである。しかし屈折率格子を形成した後にホトリフラクティブ結晶に電界を印加し、光の波動ベクトルを変化させることによりスイッチングさせると、非常に高速なスイッチが実現できることが述べられている。OPP-FWMでは屈折率格子の書き換えが生じないため長時間の電界印加が可能である。対称性4mmをもつホトリフラクティブ結晶としてBaTiO<sub>3</sub>、KNSBNおよびSBNを用いた場合を相互に比較し、BaTiO<sub>3</sub>がもっとも小さな印加電界でスイッチング可能であることを理論的に予測している。更にこれらの結果を考慮して、高速にON/OFF可能な1×1および1×2光スイッチを提案している。

最後に以上をまとめて結論を述べている。

これを要するに、著者は、直交偏波4光波混合(OPP-FWM)の定常状態および過渡状態における屈折率格子の特性に関していくつかの重要な新知見を得たものであり、光情報通信工学に貢献するところ大なるものがある。よって、著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。