

フォトリフラクティブ結晶を用いた 4 波混合による 位相共役光発生の高効率化とその制御に関する研究

学位論文内容の要旨

最近、非線形光学に関する研究が盛んになり、光の照射により媒質の屈折率が変化するフォトリフラクティブ効果が注目を集めている。この効果の重要な応用の 1 つとして、4 波混合による位相共役光の発生が挙げられる。位相共役光とは、ある光波に対して、波面が同じで伝搬方向が反対の光波であり、光情報処理・通信などへの応用が期待されている。

位相共役光の発生効率は、相互作用に寄与する光波の偏光、入射角度、および相互作用の結合係数などに大きく依存する。よって、これらを調整することにより、位相共役光を効率的に発生することができる。一方、結合係数が大きく位相共役光が高効率に発生する場合においては、その発生効率に多値特性が現れるが、実用上、この多値特性を制御する必要がある。このような観点から、フォトリフラクティブ結晶を用いた 4 波混合による位相共役光発生の高効率化と制御を目指した研究を行った。以下に各章の要旨を示す。

第 1 章では、本研究の背景、位置付けおよび目的を述べた。

第 2 章では、フォトリフラクティブ効果により結晶の屈折率が変化する過程を説明した。

第 3 章では、4 波混合の原理となる 2 波混合による光相互作用について解析した。フォトリフラクティブ結晶として BaTiO_3 結晶を仮定し、相互作用における結合係数を計算した。また、結晶による吸収損失を考慮した 2 波混合による光増幅の解析を行った。

第 4 章では、結合係数の観点から、位相共役光の発生効率を解析した。相互作用に寄与する光波の偏光が全て同一平面上にある場合において、位相共役光の発生効率を表す位相共役反射率を導出した。これを数値計算し、位相共役光が効率的に発生する条件を示した。また、効率的に位相共役光が発生する条件を満足した場合、位相共役反射率が多値特性を有することを示した。

第 5 章では、相互作用に寄与する光波の偏光および入射角度の観点から、相互作用における結合係数が小さい場合においても、位相共役光が効率的に発生する条件を検討した。まず、相互作用に寄与する 2 つのポンプ光の偏光が互いに直交する交差偏光 4 波混合の位相整合特性を検討し、位相整合を比較的容易に満足できる実用的な光学系を明らかにした。また、結晶端面による位相共役光の全反射角を考慮し、実際に位相整合を満足できる光波の入射角度の範囲を求めた。次に、位相不整合が生じた場合における位相共役反射率を導

出し、位相共役光の発生効率を解析した。更に、交差偏光 4 波混合による位相共役光の発生実験を行い、位相整合状態および位相不整合状態における位相共役光の発生効率を測定することにより、本理論解析の妥当性を示した。

第 6 章では、ポンプ光の波形を制御することにより、相互作用における結合係数が小さい場合においても、位相共役光の発生を高効率化する方法を提案した。まず、ポンプ光に連続光を用いた 4 波混合による位相共役反射率の時間応答特性を解析し、回折格子の形成および消去の過程を明らかにした。次に、ポンプ光をビデオフレーム周期でパルス動作する場合における位相共役反射率を解析した。パルス光と連続光をポンプ光に用いた場合の位相共役反射率を比較し、パルス光ポンピングによって位相共役光を効率的に発生できることを示した。更に、連続光およびパルス光をポンプ光に用いた場合の実験を行い、理論解析結果と比較検討することにより、本手法の有効性を示した。

第 7 章では、大きな結合係数を用いた場合に重要となる位相共役反射率の多値特性を解析し、これを制御する方法を提案した。45°-cut BaTiO₃ 結晶などを用いると、比較的大きな結合係数を得られるが、この場合に現れる位相共役反射率の多値特性について、その解の収束条件は十分に検討されていない。一方、この多値特性を制御することにより、位相共役光を光双安定などへ応用することができる。通常の 4 波混合における多値特性の解析は非常に複雑であるため、本研究では、前進ポンプ光を入射しない場合に観測される位相共役反射率を解析し、高効率な反射率を選択する条件について考察した。また、双安定性が現れる閾値条件の解析を行い、ポンプ光に 2 つの異なる初期条件を用いることにより、この双安定性を制御できることを示した。更に、位相共役反射率の双安定性を制御する実験を行い、本手法の有効性を示した。結晶内に誘起される屈折率回折格子の時間的空間的变化を示し、前進ポンプ光を入射しない場合における位相共役反射率の双安定性が現れる過程を明らかにした。

第 8 章では、結論として、本研究より得た新知見の総括と共に、今後の課題を述べた。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	三 島 瑛 人
副 査	教 授	小 川 吉 彦
副 査	教 授	小 柴 正 則
副 査	助教授	岡 本 淳

学 位 論 文 題 名

フォトリフラクティブ結晶を用いた 4 波混合による 位相共役光発生の高効率化とその制御に関する研究

最近、非線形光学に関する研究が盛んになり、光の照射により媒質の屈折率が変化するフォトリフラクティブ効果が注目を集めている。この効果の重要な応用の 1 つとして、4 波混合による位相共役光の発生が挙げられる。位相共役光とは、ある光波に対して、波面が同じで伝搬方向が反対の光波であり、光情報処理・通信などへの応用が期待されている。

位相共役光の発生効率は、相互作用に寄与する光波の偏光、入射角度、および相互作用の結合係数などに大きく依存する。よって、これらを調整することにより、位相共役光を効率的に発生することができる。一方、結合係数が大きく位相共役光が高効率に発生する場合においては、その発生効率に多値特性が現れるが、実用上、この多値特性を制御する必要がある。このような観点から、フォトリフラクティブ結晶を用いた 4 波混合による位相共役光発生効率を解析し、その高効率化と制御を目指した研究を行った。以下に各章の要旨を示す。

第 1 章では、本研究の背景、位置付けおよび目的を述べた。

第 2 章では、フォトリフラクティブ効果により結晶の屈折率が変化する過程を説明した。

第 3 章では、4 波混合の原理となる 2 波混合による光相互作用について解析した。フォトリフラクティブ結晶として BaTiO_3 結晶を仮定し、相互作用における結合係数を計算した。また、結晶による吸収損失を考慮した 2 波混合による光増幅の解析を行った。

第 4 章では、結合係数の観点から、位相共役光の発生効率を解析した。相互作用に寄与する光波の偏光が全て同一平面上にある場合において、位相共役光の発生効率を表す位相共役反射率を導出した。これを数値計算し、位相共役光が効率的に発生する条件を示した。また、効率的に位相共役光が発生する条件を満足した場合、位相共役反射率が多値特性を有することを示した。

第 5 章では、相互作用に寄与する光波の偏光および入射角度の観点から、相互作用における結合係数が小さい場合においても、位相共役光が効率的に発生する条件を検討した。

まず、相互作用に寄与する 2 つのポンプ光の偏光が互いに直交する交差偏光 4 波混合の位相整合特性を検討し、位相整合を比較的容易に満足できる実用的な光学系を明らかにした。また、結晶端面による位相共役光の全反射角を考慮し、実際に位相整合を満足できる光波の入射角度の範囲を求めた。次に、位相不整合が生じた場合における位相共役反射率を導出し、位相共役光の発生効率を解析した。更に、交差偏光 4 波混合による位相共役光の発生実験を行い、位相整合状態および位相不整合状態における位相共役光の発生効率を測定することにより、本理論解析の妥当性を示した。

第 6 章では、ポンプ光の波形を制御することにより、相互作用における結合係数が小さい場合においても、位相共役光の発生を高効率化する方法を提案した。まず、ポンプ光に連続光を用いた 4 波混合による位相共役反射率の時間応答特性を解析し、回折格子の形成および消去の過程を明らかにした。次に、ポンプ光をビデオフレーム周期でパルス動作する場合における位相共役反射率を解析した。パルス光と連続光をポンプ光に用いた場合の位相共役反射率を比較し、パルス光ポンピングによって位相共役光を効率的に発生できることを示した。更に、連続光およびパルス光をポンプ光に用いた場合の実験を行い、理論解析結果と比較検討することにより、本手法の有効性を示した。

第 7 章では、大きな結合係数を用いた場合に重要となる位相共役反射率の多値特性を解析し、これを制御する方法を提案した。 45° -cut BaTiO₃ 結晶などを用いると、比較的大きな結合係数を得られるが、この場合に現れる位相共役反射率の多値特性について、その解の収束条件は十分に検討されていない。一方、この多値特性を制御することにより、位相共役光を光双安定などへ応用することができる。通常の 4 波混合における多値特性の解析は非常に複雑であるため、本研究では、前進ポンプ光を入射しない場合に観測される位相共役反射率を解析し、高効率な反射率を選択する条件について考察した。また、双安定性が現れる閾値条件の解析を行い、ポンプ光に 2 つの異なる初期条件を用いることにより、この双安定性を制御できることを示した。更に、位相共役反射率の双安定性を制御する実験を行い、本手法の有効性を示した。結晶内に誘起される屈折率回折格子の時間的空間的变化を示し、前進ポンプ光を入射しない場合における位相共役反射率の双安定性が現れる過程を明らかにした。

第 8 章では、結論として、本研究より得た新知見の総括と共に、今後の課題を述べた。

これを要するに、著者は、フォトリフラクティブ結晶を用いた 4 波混合による位相共役光の発生において、その発生効率の改善および発生効率の制御に対する新知見を得たものであり、非線形光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。