

# Properties of Partially Coherent Light Using the Mutual Intensity and the Ambiguity Function

(相互強度および ambiguity function を用いた部分的コヒーレント光の特性)

## 学位論文内容の要旨

スペckルノイズの低減化は、レーザ光を利用したあらゆる光システムの精度向上のため必要不可欠である。その低減化の方法として、システムに対して部分的コヒーレント光を使用する方法は最も有効である。本研究では、準単色な部分的コヒーレント光の特性を相互強度および ambiguity function を用いた解析により明らかにする。

第1、2章は本論文の序論である。第1章ではまず始めに本研究の目的について述べ、次に本研究で用いられる相互強度および ambiguity function について概説する。第2章では、相互強度の定義および自由空間におけるその伝搬則を与え、さらに ambiguity function についても同様にその定義および自由空間における伝搬則を与える。

第3章から第7章までは本論文の本論である。第3章では、光ファイバ出射光源がフ라운ホーファ回折領域に形成する光の場の空間的コヒーレンス特性に関して研究している。具体的には、光ファイバ内部における物理的に不可避な要因、例えばコアとクラッド間のランダムな構造的揺らぎ、コアの屈折率の微視的な揺らぎ、光ファイバの曲げなどを考慮することにより、光ファイバ出射光を方向及び位相がランダムでかつ互いに独立な平面波を放射する光源として記述し、遠方界における相互強度を導出する。解析結果より光ファイバ出射光源は、光源内の各点が互いに独立に光を放射するインコヒーレント光源とは本質的に異なることが示される。さらに、光ファイバ出射光源の空間的コヒーレンス特性は光ファイバの導波モード数に強く依存し、特に光ファイバが多モードになるに従ってこの光源はインコヒーレント光源と等価になることが示される。このことは、光ファイバ出射光源は空間的コヒーレンス特性の制御が容易に可能な部分的コヒーレント光源であることを示している。

第4章では、ガウス型シェルモデルビームの ambiguity function について、それが一定値をとる軌跡である楕円とビームのパラメータとの関係について研究している。ガウス型シェルモデルビームは、強度分布および複素コヒーレンス度がガウス分布の部分的コヒーレント光源、すなわちガウス型シェルモデル光源から放射された光の場のことであり、前の章で解析された光ファイバ出射光源からの光の場はこのビームの一つの実現例である。結果として、楕円の面積はビームの伝搬距離に依存せず光源の空間的コヒーレンス長のみ依存し、コヒーレンス長の増加とともに面積は増加することが示される。この面積の増加は、位相空間におけるビームの不確定性の増大を意味している。また、空間差軸上での楕円の広がりにはビームの自己相関関数の広がり一致し、光源の空間的コヒーレンス長のみ依存するビームのウエスト領域の深さに一致する。このことは、楕円から未知の部分的コヒーレント光源の空間的コヒーレンス長が求められることを意味しており、新たなコヒーレンス長の測定方法を示唆している。

第5章では、半導体アレイレーザのコヒーレンス特性に関して研究している。半導体アレイレーザは単一基板上での作成の容易さと微小光学要素への接合の容易さから、将来の

光多重通信用および光並列情報処理用光源として有望である。現状において、アレイレーザから放射される光の場は弱結合モード理論から導出されるスーパーモードにて記述されている。しかし、実際にはアレイレーザ内部における物理的不確定要因、例えばアレイ素子内部の構造的揺らぎ、アレイ素子間の利得分布の不均一性などのため、スーパーモードは確定的に記述され得ない。この章では、これら不確定要因に起因するスーパーモードの揺らぎ成分が遠方界パターンに及ぼす影響を解析する。具体的には、スーパーモードを各素子から放射される不確定的なモードのコヒーレントな重ね合わせとして記述し、相互強度から遠方界パターンを導出し、そのコントラストを評価する。結果として、揺らぎ成分の積分強度の増大および揺らぎ成分の相関長の増加とともに遠方界パターンのコントラストが低下することが示される。また、基本次および最高次スーパーモードの遠方界パターンに対する揺らぎの影響は互いに差異はなく、アレイレーザの素子数が増加するに従って揺らぎの影響は減少することが示される。本解析により、半導体アレイレーザのコヒーレンス特性と遠方界パターンとの関係が明確にされた。

第6章では、アレイ光源の特性として部分的コヒーレント光の照射下におけるタルボ効果に関して研究している。周期物体にレーザ光を照射したとき、ある特定のフレネル回折場の観測面にその自己像が形成されるいわゆるタルボ効果は、従来からレーザ計測に応用されているが、最近、この効果をアレイレーザ用共振器に応用する研究が盛んである。この章では、開口部に振幅及び位相揺らぎを有するロンキ格子に部分的コヒーレント光を照射した場合、照射光のコヒーレンス長および格子の揺らぎの相関長の変化が格子の自己像に与える影響を像のコントラストを用いて評価する。この解析では、第2章で記述した ambiguity function の伝搬則が利用される。結果として、像のコントラストは照射光の空間的コヒーレンス長、格子の振幅および位相揺らぎの相関長の減少とともに低下することが示される。特に、格子の位相揺らぎの変化がコントラストに及ぼす影響が顕著である。この解析は、タルボ効果を利用したレーザ光計測に対して正確な結果を与えるだけでなく、各素子が振幅および位相揺らぎを有しかつ各素子間の位相が部分的に同期されたアレイ光源の自己像を与えている。

第7章では、一つのビームからアレイ状光源を生成する方法が研究されている。一つのコヒーレントビームからアレイ状のビームを生成するアレイ生成器は、半導体アレイレーザと同様に、将来の光並列情報処理において必要不可欠な光学素子であり現在盛んに研究がされている。しかし、部分的コヒーレント光に対するアレイ生成器はいまだ提案されていない。この章では、一つのガウス型シェルモデルビームからアレイ状のガウス型強度分布のスポットを生成する方法について提案している。この解析は前の章と同様に、ambiguity function の伝搬則が利用される。結果として、ガウス型シェルモデル光源からタルボ距離の偶数倍離れた位置に各々がガウス型振幅透過率分布の開口を有する回折格子を置いたとき、そこからさらに同一距離離れた観測面において実現されることが示される。特に、光源の大きさ、光源の空間的コヒーレンス長、および回折格子の開口径の減少とともに、観測面におけるスポット数は増加する。

最後の第8章は、本論文の結論である。本論文により、部分的コヒーレント光の様々な特性が相互強度および ambiguity function を用いた解析により明らかにされた。本論文の結果が、将来の部分的コヒーレント光を積極的に用いる光システムに応用されることが期待される。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 朝 倉 利 光  
副 査 教 授 小 川 吉 彦  
副 査 教 授 大 塚 喜 弘  
副 査 教 授 大 場 良 次  
副 査 教 授 末 宗 幾 夫

## 学位論文題名

### Properties of Partially Coherent Light Using the Mutual Intensity and the Ambiguity Function

(相互強度および ambiguity function を用いた部分的コヒーレント光の特性)

近年、レーザ光を利用した光システムの発展は目覚ましいが、これら光システムの精度向上のためスペックルノイズ低減化の実現が待たれている状況にある。この低減化の方法として、光システムに対して部分的コヒーレント光を使用する方法は最も有効である。

本論文は、相互強度および ambiguity function を用いて準単色な部分的コヒーレント光の特性を理論的に解析し、新たな光システムの基礎を構築することを目的としたものである。

第1章では本研究の目的について述べ、さらに相互強度および ambiguity function について概説している。

第2章では、相互強度および ambiguity function の定義および自由空間における伝搬則について述べている。

第3章では、光ファイバ出射光源およびそれからのフラウンホーファ回折領域における光波の空間的コヒーレンス特性を相互強度を用いて研究している。その結果、光ファイバ出射光源の空間的コヒーレンス特性は光ファイバの導波モード数に強く依存し、特に多モードファイバになるに従ってインコヒーレント光源と等価になった。このことは、光ファイバ出射光源は出射光の空間的コヒーレンス特性を容易に制御できる部分的コヒーレント光源であることを示している。

第4章では、ガウス型シェルモデルビームの ambiguity function が一定値をとる軌跡である楕円とビームのパラメータとの関係について研究している。その結果、楕円の面積は光源の空間的コヒーレンス長のみに依存し、コヒーレンス長の増加とともに面積は増加し、位相空間におけるビームの不確実性が増大する。また、空間差軸上での楕円の広がり、光源の空間的コヒーレンス長のみに依存するビームのウエスト領域の深さに一致する。この結果は、光源の空間的コヒーレンス長の新たな測定方法を提案している。

第5章では、半導体アレイレーザのコヒーレンス特性を相互強度を利用して研究している。具体的には、レーザ内部の不確定要因に起因するスーパーモードの揺らぎ成分が遠方界パターンに及ぼす影響をそのコントラストを用いて評価している。その結果、揺らぎ成分の積分強度の増大および揺らぎ成分の相関長の増加とともにコントラストは低下するこ

とが示された。また、アレイレーザの素子数の増加とともに揺らぎの影響は減少することが示された。これらの結果より、半導体アレイレーザのコヒーレンス特性と遠方界パターンとの関係が明らかにされた。

第6章では、アレイ光源の特性として部分的コヒーレント光の照射下におけるタルボ効果を ambiguity function の伝搬則を利用して研究している。具体的には、開口部に揺らぎを有するロンキ格子に部分的コヒーレント光を照射した場合、照射光のコヒーレンス長および格子の揺らぎの相関長の変化が格子の自己像に与える影響を像のコントラストを用いて評価している。その結果、コントラストは照射光の空間的コヒーレンス長、格子の揺らぎの相関長の減少とともに低下することが示された。特に、格子の位相揺らぎの変化がコントラストに及ぼす影響が顕著であった。これらの結果は、各素子が振幅および位相揺らぎを有しかつ各素子間の位相が部分的に同期されたアレイ光源の自己像を与えている。

第7章では、一つのガウス型シェルモデルビームからアレイ状のガウス型強度分布のスポットを生成する方法を提案している。この解析には、ambiguity function の伝搬則が利用されている。その結果、ガウス型シェルモデル光源からタルボ距離の偶数倍離れた位置に各々がガウス型振幅透過率分布の開口を有する回折格子を置いたとき、そこからさらに同一距離離れた観測面において実現されることが示された。特に、光源の大きさ、光源の空間的コヒーレンス長、および回折格子の開口径の減少とともに、観測面におけるスポット数は増加することが明らかとなった。

第8章では、本論文の結論が述べられている。

これを要するに、著者は、光源との関係において部分的コヒーレント光の特性を相互強度および ambiguity function を用いた解析により明らかにし、新たな光システムの基礎の構築に多くの新知見を提供しており、光物理学および光工学の進歩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。