

博士学位論文要旨等の公表

学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条に基づき、当該博士の学位の授与に係る論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

氏名	杉田 辰哉
学位の種類	博士（理工学）
報告番号	甲第9号
学位授与の要件	学位規程第4条第2項該当
学位授与年月日	平成21年9月2日
学位論文題目	「波面収差解析、ベクトル回折効率解析による チャープ型回折格子の高性能化及びその応用 に関する研究」
論文審査委員	主査 教授 山中 明生 委員 教授 石田 宏司 委員 教授 川瀬 正明

学位論文要旨

光科学研究科 光科学専攻

学籍番号: D2080010

氏名: 杉田 辰哉

波面収差解析、ベクトル回折効率解析による チャープ型回折格子の高性能化及びその応用に関する研究

チャープ型回折格子は平坦な面で集光を行えることから集積化・複製が容易であり、その特性を活かして光通信デバイスを始め、いろいろな光機能性デバイスへの適用されている。本論文では、チャープ型回折格子のさらなる性能向上を図りその応用範囲を拡大するために、チャープ型回折格子の解析・設計技術を開発し、その高性能化及び粗密度波長多重(CWDM)分波器への適用について検討した。

第3章では、チャープ型回折格子の集光特性を解析的に求められるように、ホログラムの収差論を適用することでチャープ型回折格子における波面収差を導出した。3次の波面収差により解析的に求めた像点移動・スポット形状を光線追跡シミュレーションと比較し、波面収差が小さい場合3次収差のみを用いた収差解析によって像点移動量・スポット形状を精度良く計算できることを示した。導出したチャープ型回折格子の3次波面収差を用いて、球面収差、コマ収差、像面湾曲とともに波長変化に比例する項をゼロとできる低収差条件を見出した。Fig.1に低収差条件(倍率1.71)におけるスポットサイズの波長依存性を求め、入射位置は同じで光学系サイズを優先して倍率を小さくした等倍の条件(倍率1)と比較した。コア径 $62.5\ \mu\text{m}$ のマルチモード光ファイバ(MMF)から入射した場合について光線追跡により求めたもので、スポットサイズは倍率で規格化している。低収差条件においてスポットサイズの増加が小さいことが分かる。このように、チャープ型回折格子の設計において新たに導出した波面収差の適用が有効であることを示した。

第4章では、高分散で回折効率が高く、偏光依存の小さなチャープ型回折格子を実現するために、回折効率に与える格子溝形状の影響について検討した。Fig.2にベクトル回折理論を用いて計算した格子定数

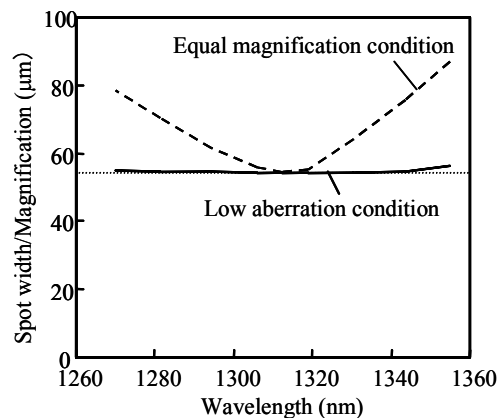


Fig. 1. Spot width of the low aberration condition and equal magnification condition as a function of the wavelength.

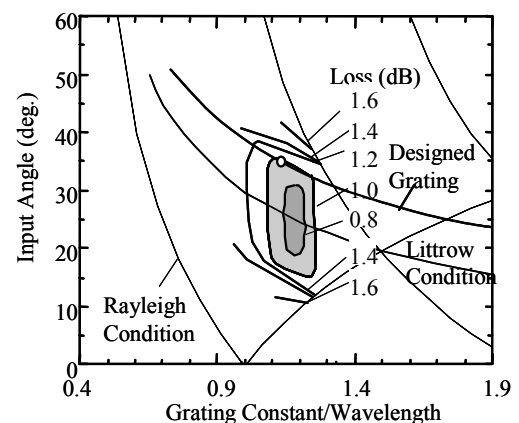


Fig. 2. Contour map of diffraction loss under the condition that TE and TM polarizations had the same diffraction efficiency.

と入射角度に対する回折損失の等高線を示す。TE偏光とTM偏光の回折損失が等しくなるようにブレイズ角度を調整したときの損失である。 $d/\lambda=1.2$ 付近に低損失になる領域があるため、格子定数が波長と同程度の共鳴領域にチャープ型回折格子の中心を設けることにより高分散で低損失な回折格子を得ることができる。Rayleigh Condition との交点においては、回折効率が大きく変化するアノーマリが生じる可能性がある。また、理想的なブレイズ角度分布に近づけるために回折格子をブレイズ角度一定な領域に分割し、高回折効率・低偏波依存性となるように分割幅・ブレイズ角度の最適化について検討した。分割領域の幅を広げても回折効率がほとんど変化しない範囲があり、各位置ごとにブレイズ角度を最適化した場合と比べて回折効率を増加させることなく領域分割できることを明らかにした。さらに、格子溝形状による回折効率の変化について検討し、TM偏光に発生したアノーマリによる回折効率低下の抑制、偏光による頂部と底部の曲率の与える影響の差について示し、これら特性を活用することによってさらに回折格子の低損失を図れることを明らかにした。

第5章では、共鳴領域を用いたチャープ型回折格子を加工し、回折効率を評価した。Fig.3 にルーリングエンジンを用いて加工した開口数 0.275 の領域分割チャープ型回折格子における平均回折損失の波長依存性を示す。波長 1300nm 付近の 70nm の測定範囲で損失 1.5dB 以下、偏光依存損失 0.6dB 以下を得え、低損失で低偏光依存性を実現した。また、チャープ型回折格子のポリマへの転写を行い、共鳴領域のチャープ型回折格子を射出成型によって光学的に同等に複製できることを示した。温度が変化した場合にポリマ回折格子の熱膨張に伴う分光特性の変化を無くすアサーマル条件について検討し、楔形の光学ブロックを用いて楔の頂角を調整することについてアサーマル化できることを示した。

第6章では、チャープ型回折格子とシリンダリカルレンズを用い、MMF に適用可能で薄型を特徴とする新規構成の CWDM 用分波器を開発した。Fig.4 に構成を示すように、領域分割チャープ型回折格子を用い、スラブ導波路とテーパ導波路を組み合わせた光導波路を用いて光検出器と結合することで、CWDM に必要な広帯域を実現した。Fig.5 にこの分波器の分波特性を示す。4 波長の多重信号を Fig.3 に示したチャープ型回折格子で分波した。62.5 μm の MMF を用い、チャンネル間隔 24.5nm、透過帯域幅 13.4nm において、挿入損失 3dB 以下、クロストーク -20dB 以下を実現した。さらに、チャープ型回折格子と凹面鏡を一体化した光学ブロックを用いる新たな小型波長分波器について検討し、回折損失・波面収差を低減することができるため分波特性を向上できることを示した。

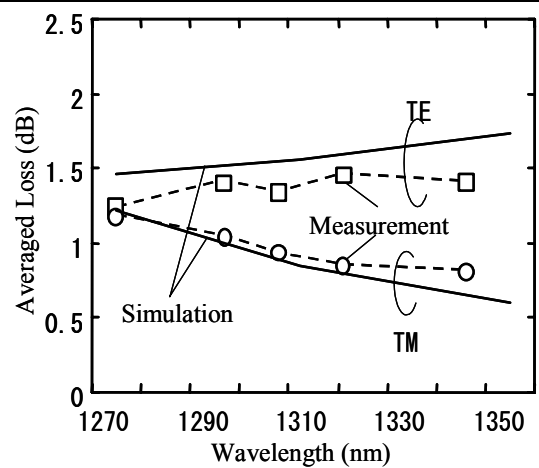


Fig. 3. Average diffraction loss in all partitions as a function of wavelength.

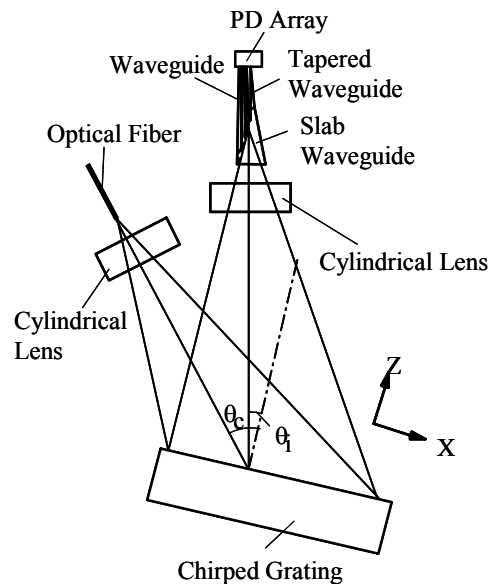


Fig.4. Schematic diagram of the demultiplexer.

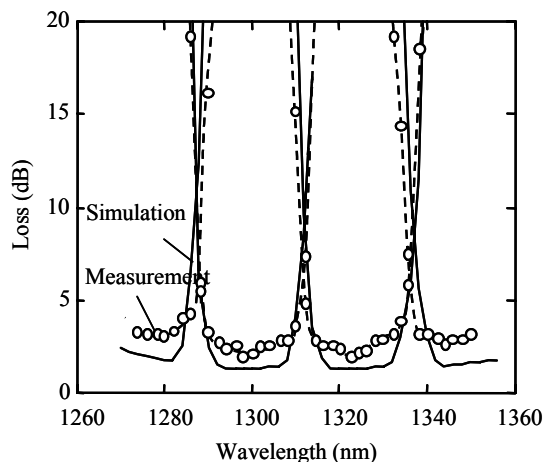


Fig.5. Transmission spectra of the 4-channel demultiplexer.

論文審査の結果の要旨

本学位論文は、チャープ型回折格子に関する理論の構築、シミュレーションによる最適設計、設計に基づくデバイス製作と基礎光学特性の評価、さらにその応用展開までチャープ型回折格子に関する総合的研究の成果をまとめたものである。研究内容としては、(1) ホログラム理論をベースとしてチャープ型回折格子に関する収差解析理論の構築と低収差条件の解析的導出、(2) 収差解析理論とベクトル回折効率解析とを組み合わせたチャープ型回折格子の最適設計、(3) 設計したチャープ型回折格子の製作とその基礎光学特性の評価、(4) 製作したチャープ型回折格子を用いた CWDM 用分波器の試作とその性能評価の 4 部からなる。公聴会では、収差解析理論を中心に、チャープ型回折格子の設計と製作さらに応用展開について発表を行った。

チャープ型回折格子は、格子のピッチを連続的に変化させることによって集光機能を有する回折格子である。チャープ型回折格子を用いた分光器は、ミラーあるいはレンズによる集光光学系が不要なため小型化が可能であり、光通信用分波器などへの応用が期待される。しかしチャープ型回折格子による光の収差や回折効率に関する解析理論が存在しなかったため、最適設計への明確な指針がなく、チャープ型回折格子の作製やその応用展開については研究報告がなかった。申請者は深い理論的考察によりホログラム理論をチャープ型回折格子に適応することに着眼し、チャープ型回折格子の収差解析理論を新たに構築した。この理論はホログラム系や通常のレンズ光学系との対応関係がよく、極めて理解しやすい実用的な理論である。申請者は卓越したシミュレーション技術を駆使して、チャープ型回折格子のベクトル回折効率解析を行い、低収差で高効率なチャープ型回折格子を設計するとともに、回折格子に特有な回折効率アンダーの回避についての指針を得た。さらに申請者は最適設計したチャープ型回折格子を実際に作製して基礎光学特性の評価を行い、チャープ型回折格子を用いた CWDM 用分波器の試作と性能評価を行った。

発表後の質疑応答では、収差解析理論とシミュレーションの関係、設計シミュレーションについて、デバイス作製について、CWDM 用分波器の特性などについて質問があったが、いずれの質問にも明快な説明がなされた。

以上の結果から、本論文は千歳科学技術大学大学院学則第 25 条および千歳科学技術大学学位規程の定めるところにより、博士（理工学）の学位を授与するのに十分との結論に達した。