



Title	3次元結像光学に基づく光記録と光微細加工に関する研究
Author(s)	田中, 拓男
Citation	大阪大学, 1996, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3110049
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	た 田 なか たく お 男
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 2 4 8 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 8 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科応用物理学専攻
学 位 論 文 名	3 次元結像光学に基づく光記録と光微細加工に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教授 河田 聰 教授 興地 斐男 教授 中島 信一 教授 八木 厚志 教授 岩崎 裕 教授 川上 則雄 教授 増原 宏 教授 樹下 行三 教授 石井 博昭 教授 豊田 順一 教授 志水 隆一 教授 伊東 一良 教授 後藤 誠一 教授 一岡 芳樹

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、3次元構造をもつ物体の結像光学理論の解析と、その結果の光記録、光微細加工技術への応用について述べたものである。論文は、本文7章、および総括から構成されている。

第1章では、3次元物体の結像に関する歴史的背景及び本研究の目的について述べている。単なるレンズを用いた従来の光学系では、3次元物体を観察できない物理的根拠と、3次元物体の構造を空間分離して結像、観察するための具体的な手法について概観している。

第2章では、光学系の3次元分解能を議論するために、1次のボルン近似のもとで3次元光学的伝達関数及び3次元点像分布関数を導出している。そして、実際にコヒーレント光学系、部分コヒーレント光学系、インコヒーレント光学系、輪帶光学系、共焦点光学系について3次元光学的伝達関数と3次元点像分布関数を求め、それぞれの光学系の3次元構造物体に対する結像特性を比較検討している。

第3章では、光記録技術の3次元化として3次元多層光メモリの提案を行い、そのための記録媒体、記録光学系、再生光学系を検討している。再生光学系については、第2章で導出した3次元伝達関数、3次元点像分布関数を用いて検討を行い、その結果、屈折率分布を記録・検出する3次元光メモリでは、その光学系に位相差顕微光学系もしくは、微分干渉顕微光学系を使用するのが有効であるとの結論を得ている。

第4章では、第3章での結論に基づき実際に3次元光メモリシステムを試作している。基礎的な実験では、レーザー走査型の記録光学系と、位相差顕微光学系を用いた再生光学系を用いて、3次元的なビットデータの多層記録とその再生が可能なことを実証している。さらに、本研究で提案している3次元の記録・再生手法をカード型光メモリに応用した3次元光メモリカードを試作し、このメモリ媒体中に30層のデータの記録と、そのデータの再生に成功している。

第5章では、ビット型の3次元光メモリと、3次元ホログラフィックメモリについて、その周波数伝達帯域、記録密度を解析的に導出し比較している。ビット型メモリの伝達周波数帯域は、用いるレンズのFナンバーが大きいほど、面内、光軸両方向ともに拡がり、広い帯域が確保できるのに対して、ホログラフィックメモリでは、記録帯域幅を最大にするFナンバーが存在することを導いている。また、記録密度の計算結果より、ビット型メモリの記録密度が大きくなることを確認している。

第6章では、非回折ビームについて述べたあと、特にその一つである0次ベッセルビームの伝播特性についての解

析と、そのビームを生成するアキシコンのビーム集光特性や収差の特性について実験と計算機シミュレーションを行い評価している。実験では、頂角160度のアキシコンを用いて、直径 $4 \mu\text{m}$ で 53mm の焦点深度をもつレーザービームスポットの生成に成功している。

第7章では、0次ベッセルビームを光リソグラフィーシステムに応用することにより、システムを長焦点深度化する手法を提案している。試作システムによる実験では、多層のレジスト基板に同時にパターンを刻むことに成功し、長焦点深度スポットを走査光学系に用いるメリットを示している。

総括では、以上の内容をまとめ、本研究による結果と知見をもとに今後の研究の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

光学顕微鏡は多くの科学技術分野で利用されているものの、3次元構造をもつ物体を観察すると、焦点面以外の部分の像がボケて重畳し、分離して観察が行えないことから、この制限を克服する3次元顕微結像技術の確立が望まれている。本論文は、この要求に応えるために、3次元構造物体に対する結像光学理論と光記録・光微細加工技術への応用に関する研究の成果をまとめたものである。その主な成果を要約すると次のとおりである。

- (1) 1次ボルン近似のもとで3次元光学的伝達関数及び3次元点像分布関数を導出して、3次元構造を有する試料に対する光学系の結像特性を解析し、光学系の3次元結像能力を評価している。また、3次元物体を解像するための具体的な手法を提案している。
 - (2) データを3次元的に多層に記録する3次元光メモリを提案し、そのシステムを試作している。記録媒体、記録光学系、再生光学系のそれぞれについて、3次元結像理論を用いた解析を行い、3次元記録に有効な手法を提案している。さらに、試作システムを用いて、提案した手法の有効性を確認している。また、球面収差が発生する問題点を指摘し、独自の補正方法を提案している。
 - (3) 3次元ビット記録型光メモリと3次元ホログラフィックメモリについて、それぞれの手法で達成できる記録密度を、空間周波数伝達帯域と回折理論から解析的に導出している。そして、記録密度に関しては、ビット記録型光メモリの方がホログラフィックメモリに対して高い記録密度を達成できることを指摘している。また、媒体のダイナミックレンジの利用効率、コヒーレントノイズの影響についても解析を行い、ビット記録型光メモリの有効性と本論文で提案している多層記録型光メモリの実用性を確認している。
 - (4) アキシコンを用いると0次ベッセルビームを効率良く生成できることを見いだし、アキシコンで生成された0次ベッセルビームの非回折伝播特性を実験により確認している。さらに、アキシコンの実システムへの応用として、長焦点深度光リソグラフィーシステムの提案、試作を行っている。試作したシステムでは、多層のレジスト基板に対して同時にパターンを記録できることを確認し、本手法の有効性を確認している。
- 以上のように、本論文は、3次元物体に対する結像理論についての解析を行い、そこで得られた知見を光メモリや光リソグラフィーなどの光記録技術や光加工技術に応用することによって、高密度記録や長焦点深度加工が可能であることを示したものであり、応用物理学、特に光工学、計測工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値のあるものと認める。