

Title	光学薄膜のレーザー耐力向上に関する研究
Author(s)	本越, 伸二
Citation	大阪大学, 1994, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3075111
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏 名	本 越 伸 二
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 1 3 9 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 6 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電磁エネルギー工学専攻
学 位 論 文 名	光学薄膜のレーザー耐力向上に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 中井 貞雄 教 授 山中 龍彦 教 授 権田 俊一 教 授 西川 雅弘 教 授 三間 罔興 教 授 青木 亮三 教 授 三宅 正宣 教 授 井澤 靖和 教 授 中塚 正大 教 授 西原 功修

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、レーザー装置の性能に大きな影響をもつ光学薄膜の、レーザー光に対する耐力向上に関する研究についてまとめたものであり、6章より構成されている。

第1章は緒論であり、本研究における背景を示し、目的と意義を明らかにしている。

第2章では、レーザー装置に用いられる光学コンポーネントとしての光学薄膜の種々の特性とレーザーによる光学薄膜の損傷機構について、現在までに明らかになっている点、問題あるいは課題として残されている点について述べている。

第3章では、製膜条件によって変化する光学薄膜の諸特性とレーザー耐力について述べ、高耐力化に向けての光学薄膜の製膜条件を明確にしている。特に製膜時の基板温度、膜組成、酸素分圧等の、特性に与える影響を詳細に検討している。

第4章では、多層光学薄膜の中で、特にレーザー損傷閾値が低く、問題とされている多層膜偏光子について、レーザー光が薄膜側と基板側のどちらから入射した場合でも内部に発生する定在波電界強度を低く抑える新しい膜設計を行い、この手法により高耐力化が可能となることを示している。

第5章では、高出力、高繰り返しレーザー用の光学薄膜の熱伝導率を考慮することによって、高耐力光学薄膜が製作されることを明らかにしている。

第6章は結論であり、本研究によって得られた主要な結果についてまとめ、本論文の総括を行っている。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

高出力レーザーの応用は様々な分野に広がり、更に、その高出力化、高繰り返し化が期待されている。レーザーの高性能化に対して、レーザー装置を構成する多くの光学部品の高耐力化、高性能化が重要な課題として挙げられる。特に、光学薄膜は他の光学部品よりもレーザー損傷閾値が低いことから、その高耐力化が強く望まれている。

本論文は、光学薄膜の高耐力化を目的とし、光学薄膜のレーザー損傷について行った研究をまとめたものであり、主な成果を要約すると次の通りである。

- (1) レーザー損傷の物理過程を分析し、それが多くの要素が複雑に重なり合って引き起こされることから、その多層膜を構成する単層膜の諸特性を把握することが重要であることを明らかにしている。
- (2) 可視から近赤外域において一般に使用されている SiO_2 、 ZrO_2 、 TiO_2 の3種類の材料について単層膜の諸特性を評価し、光学薄膜と製膜条件の関係について以下の知見を得ている。
 - (ア) 基板温度の効果は、薄膜の充填率だけでなく、薄膜の吸収にも影響を及ぼすことを明らかにし、組成分析により、この吸収は、薄膜が複数の組成で形成されることに起因することを明らかにしている。
 - (イ) 酸素分圧の効果は、薄膜の酸化とともに、材料粒子の平均自由行程に影響を与え、充填率を変えることを指摘している。またレーザー耐力に対して酸素分圧には最適値があり、過酸化状態もレーザー耐力の低下の原因となることを明らかにするとともに、酸化が不十分な薄膜は、製膜後大気中の水分と結合することを成分解析より明らかにしている。
 - (ウ) 内部応力は、薄膜の組成よりも充填率に関係することを明らかにし、充填率が高くなると応力は圧縮側に増加することを見出している。
- (3) 多層膜偏光子の高耐力化を実現する新しい膜設計を提案し、その設計による耐力向上を実証している。すなわち、従来の設計法（薄膜側からの入射光に対してのみ内部定在波電界を抑えたもの）による偏光子は、基板側からのS偏光の入射光に対して境界面で電界強度が最大となることを指摘し、薄膜側、基板側の両方からの入射光に対して定在波電界強度を低く抑える新しい設計の偏光子を提案している。その偏光子のレーザー耐力は、波長 $1.053 \mu\text{m}$ 、パルス幅 1 ns のレーザー光に対し、薄膜側からのp偏光では、約 $11 \text{ J}/\text{cm}^2$ 、基板側からのS偏光では約 $17 \text{ J}/\text{cm}^2$ を示し、従来の設計の偏光子に比べて3倍に耐力が向上することを実証している。
- (4) 繰り返し照射による光学薄膜の損傷機構を明らかにし、高出力、高繰り返しレーザー用の光学薄膜の高耐力化のための研究を行い以下の知見を得ている。
 - (ア) 繰り返し照射による薄膜の損傷機構は、薄膜内の熱蓄積であり、薄膜自身の吸収とともに、熱伝導率が重要な要素であることを明らかにしている。
 - (イ) 吸収の少ない SiO_2 膜と熱伝導率の高い Al_2O_3 膜によって構成することにより、高繰り返しレーザー用反射防止膜の高耐力化が可能であることを実証している。
 - (ウ) 熱伝導率の高い Al_2O_3 膜のオーバーコートによって、高反射膜の表面の局所的な温度上昇を緩和し、繰り返し照射時の高耐力化が可能であることを実証している。
 - (エ) 高反射膜における高熱伝導率基板の効果は、繰り返し照射周波数の増加に従うレーザー耐力の低下を抑えることを指摘している。以上のように本論文は光学薄膜のレーザー損傷の機構を明らかにするとともに、損傷閾値の向上のための手法を開発し、レーザー工学及び電磁エネルギー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あるものと認める。