エキシマレーザー中空伝送路の開発

橋新裕一、水上 学、山川禎貴、久保宇市

近畿大学理工学部電気工学科

Development of Hollow Light Guide for Excimer Laser Power

Yuichi Hashishin, Manabu Mizukami, Yoshiki Yamakawa and Uichi Kubo

Dept. of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, KINKI UNIVERSITY

Abstract: The transmittance and delivery laser energy of KrF and ArF excimer lasers were improved through Hollow Light Guide with aluminum reflector. The hollow light guide uses thin polytetra-fluoroethylene (teflon) slab and polyolefin coat as its material. The size of the guide's hollow part is 8 mm width, 0.5 mm height, with 120 cm maximum length. The transmittance of KrF laser was 68 % at 100 cm long. This value was higher than the previous value 50 %. The maximum delivery laser energy was raised from 7 mJ to 90 mJ. In the case of ArF laser, transmittance and delivery energy was 50 % per meter and 20 mJ, respectively. Their values were also higher than the previous data. The reason why the transmittance and the delivery laser energy were improved are that laser beam changed from non-polarization to linear polarization, the reflectance of aluminum reflector was high so as to devise the polishing technique, and the optimum of the coupling system were made.

Key words: Hollow light guide, Excimer laser, Laser power delivery system, ArF laser, KrF laser.

1. はじめに

レーザーパワー伝送路としては、赤外から紫外に至る広い波長域で伝送できることが最終目的である。現状では近赤外から可視域までは石英ガラスファイバーが実用されている。赤外領域ではAgCl、AgBrなどのハロゲン化物、中空伝

送路が実用レベルに達してきた。しかし、これらの伝送路では連続発振レーザーの伝送は問題なかったが、ピークパワーの高いパルスレーザーを伝送できないことが新たな問題となっている。エキシマレーザーは紫外領域で発振するパルスレーザーであり、その波長、高ピークパワ

表1 KrFとArFエキシマレーザーの諸特性

Laser medium	KrF	ArF
Wavelength (nm)	248	193
Pulse duration (nsec)	23	15
Peak power (MW)	12.4	8.3
Repetition (pps)	2--200	1--50
Pulse energy (mJ/pulse)	280	125
Beam size (mm)	7x22	7x22

ーが伝送路開発の問題となっている。

ここでは、波長300nm以下のKrFおよびArFエキシマレーザーの伝送路として、アルミニウムを反射材とした矩形断面の中空伝送路を実験によって検討した。

2. 実験装置および方法

使用したエキシマレーザーはLambda Physik社のKrFレーザー (EMG103MSC)とArFレーザー (LPX105e)であり、その諸特性を表1に示した。中空伝送路の構造、材料および整形方法は既に報告したものと同一である¹⁾。中空矩形断面の寸法は0.5×8mm、長さは最長120cmである。反射材料のアルミニウム薄板は、JIS規格の1080Pを鏡面研磨して用いた。

中空伝送路は断面が矩形状であり、レーザービームの電界ベクトルの方向を矩形断面の長辺方向に合わせることが必要である²⁾。直線偏光のビームを得るため、今回は非偏光のレーザーを複像偏光プリズムに通した。また、レーザービームの集光には焦点距離10cmと20cmのシリンドリカルレンズを用いた。

3. 実験結果

反射材であるアルミニウム薄板のレーザービ

ームに対する損傷しきい値を調べた。6×10mmの矩形形状ビームを繰り返し50ppsで30sec、1500shots垂直入射した後、50mJ/cm²・pulse以下の低いエネルギー密度のレーザービームを45°の角度で入射させ、反射率を測定した。垂直入射のエネルギー密度を変えた場合の反射率を図1に示した。図のごとく、45°入射角度の反射率はXeClレーザー(波長308nm)の86.7%が最も高く、次いで、KrF、ArFの順であり、この波長領域では波長の短いほど、反射率は低いことが確かめられた。損傷しきい値はKrFの場合、0.45J/cm²・pulse、ArFでは0.18J/cm²・pulseであり、これ以上のエネルギー密度では反射面が損傷した。XeClでは装置の限界までのエネルギーを入射したが、反射率は変わらず、損傷も見られなかった。損傷しきい値も波長の短いレーザーほど、低いことが判った。

実際に、上記の反射板を用いた中空伝送路の許容伝送パワーを調べた。伝送路長さ10cm、非偏光ビーム、焦点距離10cm、繰り返し2ppsの場合の結果を図2に示した。図のごとく、KrFの場合

図1 アルミ反射板のレーザー損傷しきい値

図2 中空伝送路の許容伝送ピークパワー

合、6.5 MW (150 mJ/pulse)まで入射させても伝送率は変わらず、伝送路の反射板に損傷は見られなかった。これ以上の入力パワーでは伝送率は低下し、伝送路入射部の反射板表面が損傷した。ArF の場合には、3.5 MW (52 mJ/pulse)までの入射が可能であった。これらの値は、繰り返しを装置の限界まで早くしても同じであった。

非偏光ビームを直線偏光ビームに変え、伝送路長さ110cmまでの長さに対する伝送率を調べた。レンズ入射前のビームサイズ 5mm、焦点距離 20 cmの場合の結果を図 3 に示した。図中には、真

図3 直線偏光ビームの伝送特性

空蒸着アルミ面の反射率から理論計算した結果も併せて示した。長さ1mあたりの伝送率は KrF の場合、68 %、ArFでは 50 %が得られた。

今回得られた伝送率、伝送エネルギーおよびピークパワーをこれまでに得られた値と比較して表2 にまとめた。表のごとく、KrFの場合、伝送率は従来の1mあたり50%から68%に、伝送エネルギーは 7mJ から 90mJ に向上した。ArFの場合、伝送率は 42% から 50% に、伝送エネルギーは 2.5 mJ から 20mJ に向上した。

4. 検討および考察

中空伝送路のエキシマレーザー伝送パワーおよび伝送率向上のため、今回は次の3点について実験検討した。一つはアルミニウム反射板の

表2 中空伝送路の伝送率、伝送エネルギーと伝送ピークパワー

Laser	Wavelength Pulse Width	Transmittance	Delivery Power	
			Energy	Peak
KrF	248 nm 23 nsec	50 %/m	7.0 mJ/pulse	300 kW
		↓ 68 %/m	↓ 90.0 mJ/pulse	↓ 4000 kW
ArF	193 nm 15 nsec	42 %/m	2.5 mJ/pulse	170 kW
		↓ 50 %/m	↓ 20.0 mJ/pulse	↓ 1500 kW

反射率向上であり、具体的には反射面の研磨技術の工夫である。今回はこれまでに用いていた材料よりもアルミニウムの純度の高い試料を鏡面研磨した。これにより反射率は、従来より約8%向上できた。

矩形断面の中空伝送路はレーザー光の電界ベクトルの方向を矩形断面の長辺方向に合わせる、すなわちアルミ反射面と平行に合わせた場合にレーザー光の反射率が高い³⁾。そこで、通常エキシマレーザーは非偏光ビームであるので、今回は複像偏光プリズムを用いて二つの偏光成分に分け、一方を中空伝送路に入射させた。

中空伝送路の伝送率はレーザー光の伝送路への入射角度に依存し、可能な限り平行ビームに近づけて伝送路と結合させれば、伝送率は高くなる。具体的には、集光レンズの焦点距離とレンズ入射前のビームサイズの両者の組み合わせの中で、伝送路への入射角度が小角度になるように選ぶ。焦点距離が長くなると、レーザー光を中空伝送路の短辺長さ(0.5mm)よりも小さく絞れなくなるし、焦点距離が短いと入射角度は大きくなるので、最適条件を見出す必要がある。今回は、サイズ5×6mmの矩形ビームの5mmの方を焦点距離20cmのシリンダリカルレンズで線状に集光して中空伝送路に入射させた。この場合の入射角度は約0.66°であった。

以上、アルミ面の反射率向上、レーザー光を非偏光から直線偏光に変えたこと、結合方式の最適化を図った結果、伝送率、伝送エネルギーを向上することができた。しかし、反射率向上と結合方式には未だ改善の余地があり、計算上

では伝送率90%/m以上が望める。

KrFレーザーとArFレーザーの中空伝送路伝送特性の違いは、アルミニウム反射板の両レーザー光の反射率の違いと、空気によるArFレーザーパワーの減衰による。すなわち、KrFレーザーの反射率は入射角度85°の場合、95%であるのに対して、ArFレーザーはKrFより低く、94%である⁴⁾。レーザー光は中空伝送路内を反射を繰り返して伝送されるため、反射率の僅かな違いでも伝送率に大きな違いとなって現われる。また、空気によるArFレーザーの吸収は12%/mであるが、KrFレーザーではほとんど吸収されない⁵⁾。

5. 結 論

KrF および ArF エキシマレーザーのパワー伝送路として、矩形中空伝送路を実験検討した結果、次の結論を得た。

- (1) KrF エキシマレーザーの伝送率は68 %/m、伝送エネルギーは90mJ が得られた。
- (2) ArF エキシマレーザーの伝送率は50 %/m、伝送エネルギーは20mJ が得られた。

参考文献

- 1) 橋新、久保：日本レーザー医学会誌、Vol.9, No.3 (1988) p.391-394.
- 2) U.Kubo, Y.Hashishin : SPIE, Vol.494 (1984) p.79-83.
- 3) 橋新、久保：日本レーザー医学会誌、Vol.5, No.3 (1985) p.273-278.
- 4) U.Kubo, Y.Hashishin, K.Okada : SPIE, Vol.1893 (1993) p.170-176.
- 5) 橋新、久保：第54回応用物理学会学術講演会予稿集、No.3 (1993) p.1051.