KrF レーザー用光ファイバーの開発

岡田和之, 渡辺 泉, 田中紘幸¹⁾, 久保宇市

近畿大学理工学部、1) 三菱電線工業 (株)

Development of Quartz Fiber for KrF Laser Delivery

Kazuyuki OKADA, Izumi WATANABE, Hiroyuki TANAKA* and Uichi KUBO

Faculty of Science & Technology, Kinki University

*Mitsubishi Cable Industry Co., Ltd.

ABSTRACT

A laser delivery system is essential for medical application of lasers. The quartz fiber is available for the laser delivery in visible ~ultraviolet region. The transmittance of the quartz fiber was observed to be reduced in KrF excimer laser delivery at the delivery intensity of 0.6 J/cm^2 . The absorption band was induced at 215 nm in the core glass after KrF laser delivery. This absorption band originates in E' defect, the formation of which is related to the dopants in the core glass. OH dopant was shown to be effective in suppressing the formation of the laser-induced defect. The transmittance of the fiber with the gradually reduced index profile in the clad was above 60 % during the 7200 pulses delivery.

1. はじめに

エキシマレーザーによる生体組織の切開では、XeCl レーザー光にくらべ KrF レーザー光の方が穿孔能力が大きく、¹⁾ 生体組織への作用の強いことが伺える。また、KrF レーザーは1光子のエネルギーが5 eVと大きく、光化学効

果を利用した治療にも有効であると思われる。

この KrF レーザー用導波系として石英ファイバーを検討している。

石英ファイバーのエキシマレーザー伝送では、伝送時間(伝送パルス数)とともに伝送率が低下することを前々回の大会で報告した。これは

エキシマレーザーの医療機器実用化において重要な検討課題である。この伝送率低下は伝送される紫外光によりコアガラス中に新たに欠陥が形成され、この欠陥のもつ吸収帯によるものと思われる。ガラス中の欠陥形成はOH、Clドーパントに関係しており、ドーパントの伝送特性に及ぼす影響を調べる必要がある。

XeClレーザー伝送の場合、Clドーパントを除去したサンプルで伝送率低下が抑制され、7200パルス伝送中80%（長さ1m）以上の伝送率で安定した伝送特性を得ている²⁾。石英ファイバーのKrFレーザー伝送特性は伝送率低下がXeClレーザー伝送の場合より著しく、実用化に向けて高効率で安定な伝送特性を有する導波系の開発が急務である。

本論文では、石英ファイバーのKrFレーザー伝送特性に及ぼすOH、Clドーパントの影響ならびにクラッドの屈折率を段階的に変化させたファイバーの伝送特性を調べ、実用化に向けて導波系としての検討を行った。

2. 石英ファイバー及び実験条件

実験に用いた石英ファイバーのOH、Clドーパント量を表1に示す。OH低ドーパント石英ファイバーは245 nmに酸素欠乏欠陥に起因する吸収帯をもつためKrFレーザー光の伝送が困難である。OHをドーパするとこの吸収帯が消滅するため、OHドーパントが400 ppm以上のサンプルを用いた（試料A～C）。クラッドの屈折率を段階的に変化させたファイバーも用意した（試料D）。その屈折率分布は図1に示す通りである。

表1 試料ファイバーのOH、Clドーパント量

サンプル	コア径 (μm)	OH (ppm)	Cl (ppm)
A	400	800	1
B	100	400	1～3
C	100	600	200
D	グレーデイト	800	free

図1 試料Dファイバーの屈折率分布

レーザービームは焦点距離45 mmの石英レンズを用いて集光し、アパーチャーを通して石英ファイバーと結合した。コア径100 μm のファイバーではアパーチャー径70～80 μm 、コア径400 μm のファイバーではアパーチャー径300 μm とした。

3. 実験結果

OH 800、400 ppm ドープ石英ファイバー（試料A、B）でKrFレーザー光を伝送した場合の伝送パルス数に対する伝送率変化を図2に示す。いずれの場合も入射強度は1 J/cm²、パルス周期250 msec、伝送パルス数7200とした。伝送率はファイバー長さ1 mに換算評価した。OHドーパ量が400 ppm ファイバーの方が800 ppmのファイバーにくらべると伝送率低下が著しく、OHドーパントは伝送率低下を抑制する効果があることがわかった。しかし、

図2 OH 400, 800 ppm石英ファイバーのKrFレーザー伝送特性(長さ1m)

図3 ステップ、グレーディッド型石英ファイバーのKrFレーザー伝送特性(長さ1m)

OH 800 ppm ドープしたファイバーでも伝送開始当初85%の伝送率が1000パルス伝送後に40%となり、7200パルス伝送後には25%まで低下した。OH 600 ppm、Cl 200 ppm ファイバー(試料C)の伝送特性は、OH 800 ppm、Cl 1 ppm ファイバーの特性と一致した。

これまでコアクラッド間の屈折率分布がステップ状のファイバーを用いてきた。クラッド

の屈折率を徐々に変化させたファイバー(試料D)を用いてKrFレーザー光を伝送した場合の伝送特性を図3に示す。伝送条件はステップ状ファイバーと同じで、OH 800 ppm、Cl free である。ステップ状ファイバーにくらべて伝送低下が小さく、7200パルス伝送後でも60%以上の伝送率を維持した。

4. 検 討

K r F レーザー伝送での伝送率低下は、レーザー伝送中にコアガラス中に生成された欠陥のもつ215 nmの吸収帯のためと考える。ロッド状ガラスサンプルでもK r F レーザー照射により215 nmを中心に吸収帯が観測された。この吸収帯はOH 400 ppmのロッドサンプルにくらべてOH 800 ppmのサンプルの方が小さく、それぞれのOHドーパファイバーの伝送特性(伝送率低下量)と定性的に合致する。したがって伝送率低下は215 nm (5.8 eV)の吸収帯の形成によりを引き起こされていると思われる。 γ 線が石英ガラスに照射されるとE、E₁'、E₂'の各吸収帯が生じる。³⁾それぞれの吸収ピーク位置は、7.6、5.8、5.4 eVであり、215 nm吸収帯はエネルギーからみるとE₁'帯に対応する。ファイバー中の欠陥は γ 線のみならずX線、紫外線でも誘起される。⁴⁾ K r F レーザー伝送時においてもレーザー光がコアガラスに γ 線と同じ効果を与え、E₁'帯が形成されているものと考えられる。

ファイバー試料Cは試料AにくらべOHドーパントが200 ppm少ないため、E₁'帯の形成が大きく、伝送率低下が著しいことが推測されるが、実験では両者は全く一致した伝送特性を示した。これは、試料CではClドーパントが200 ppm含まれているためであると思われる。OH、Clドーパントの総量は試料A、Cとも800 ppmであり、OHとClドーパントは何れもE₁'欠陥に対して同じ効果を示すとも考えられる。さらに、OH、Clドーパント量を変化させて調べる必要がある。

図3に示したように、クラッドガラスの屈折

率を段階的に変化させたファイバーで伝送率低下が著しく軽減されていることから、コークラッド境界面でのレーザー光の振舞い、欠陥の生成過程を充分検討する必要がある。今後、クラッド並びにコアガラスの屈折率分布を最適化させることで伝送率低下をさらに抑え、高効率のK r F レーザー用ファイバーが実現できるものと期待される。

5. ま と め

石英ファイバーでK r F レーザー光を伝送したときに起こる伝送率低下にはE₁'欠陥の形成が関係しており、OHドーパントを増加させることにより形成されるE₁'欠陥の密度が軽減され、伝送率低下が抑制される。クラッド部の屈折率を段階的に変化させたファイバーでさらに伝送率低下が抑制され、7200 パルス伝送中、60%以上の伝送率を維持した。

参考文献

- 1) 久保、岡田；日本レーザー医学会誌、Vol. 10., No 3 (1989) 463.
- 2) 岡田、渡辺、田中、久保；レーザー学会学術講演会第11回年次大会予稿集、p. 257.
- 3) 作花、境野、高橋編；ガラスハンドブック (朝倉書店、1987) p. 827.
- 4) R. N. Schwartz et al. ; MRS Symp. Proc. Vol. 61 (1986) 349, J. Simpson et al. ; MRS Symp. Proc. Vol. 61 (1986) 197.