

最近の技術から

エキシマレーザー用光学石英ガラス

藤ノ木 朗

信越石英(株)石英技術研究所 〒963-07 郡山市田村町金屋字川久保 88

1. はじめに

今日、次世代の露光技術といわれてきた KrF エキシマレーザーを光源とするリソグラフィの実用化が進みつつある。エキシマレーザー露光装置の光学部材に要求される光学的均質性、光透過性、光学的安定性は従来以上に厳しくなっており、実質的にはこれらの要求を満たす光学材料はコスト的な面でもほぼ石英ガラスに限定されよう。本稿では実用化の段階が見えてきた KrF ステッパーに用いられる石英ガラスの現状と課題について、われわれが開発した Suprasil P-10 を中心に紹介し、また、将来の露光光源として考えられている ArF エキシマレーザーに対する石英ガラスの可能性についても簡単に触れたい。

2. KrF エキシマステッパー用光学石英ガラス

KrF エキシマステッパーの投影光学系を構成する硝材に求められる要件は以下のようなものである^{1,2)}。

透過率	≥99.9%…安心レベル
($t=10$ mm)	≥99.0%…最低レベル
サイズ	≥φ200 mm, t 50 mm
蛍光	250~500 nm 付近で強い蛍光のないこと
ソラリゼーション	≤0.1%
内部均質性	1×10^{-6}
歪(複屈折)	1 nm/cm 未満

高純度合成石英光学材料である Suprasil P-10 の特徴は、屈折率の均質性がきわめて高いうえに全方向に脈理が存在しないことで、このことは曲率の大きなメニスカスレンズやプリズム、ビームスプリッターを構成する際きわめて有利である³⁾。

3. 石英ガラスの耐エキシマレーザー特性

エキシマレーザー光の照射により、一般的な石英ガラスに生じる光学的変化として、1) 透過率低下(ソラリゼーション)、2) 蛍光の発生、3) 屈折率の上昇が挙げ

られる。

3.1 透過率低下(ソラリゼーション)

上記三つの光学特性の変化のなかで、特にソラリゼーションについては、実際の露光に与える影響が大きいため解析が進んでいる。

ソラリゼーションはレーザー照射による E' センター等の紫外域に吸収を伴う常磁性欠陥の生成により生じる。図1に Suprasil P-10 に KrF エキシマレーザーを異なるフルエンスで照射した場合の 215 nm における吸光度

$$-(\log(I/I_0))/d$$

I_0 : 入射光, I : 出射光のエネルギー, d : 厚さ (cm) の変化率を示す。215 nm の吸光度はそのまま E' センターの濃度と比例した物理量であるから、この図から E' センターの増加率がフルエンスの関数であることがわかる。図2は吸光度の増加率とフルエンスの関係を両対数プロットしたものであるが、この傾きから E' センターの増加率がフルエンスの2乗に比例しており、2光子吸収によって反応が進行していることがわかる。したがって、例えばリソグラフィで硝材中を通過するエキシマレーザーのフルエンスを 1 mJ/cm^2 として、図2で求められた関係式から 10^{10} ショット後の 215 nm の吸光度を計算し、さらに 215 nm の吸収ピークの 248 nm に対する寄与を考慮して 248 nm の吸光度変化を推定すると 0.00018 の増加が見込まれ、透過率低下としては 0.05% 以内であると見積られる。

3.2 蛍光の発生

エキシマレーザーの照射により一般的に観察されるのは 650 nm の赤色蛍光であるが、その他、290 nm, 395 nm, 490 nm, 540 nm 等の蛍光が観察されることがある⁴⁾。管理された石英ガラスにおいては蛍光強度よりもレーリ-散乱による散乱強度の方がはるかに強いことを考えるとレンズから発生する蛍光が露光に影響を与える影響は無視しうと思われる。

3.3 屈折率上昇

エキシマレーザー照射によって石英ガラスの体積が収縮し、屈折率が上昇することが知られている (radiation

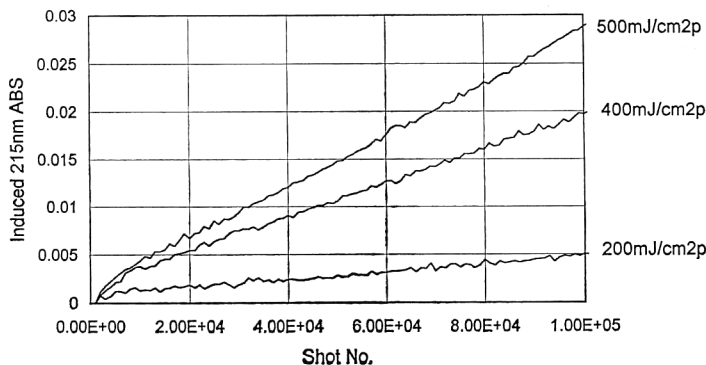


図 1 異なったフルエンスでの KrF レーザー照射による Suprasil P-10 の 215 nm の吸光度変化

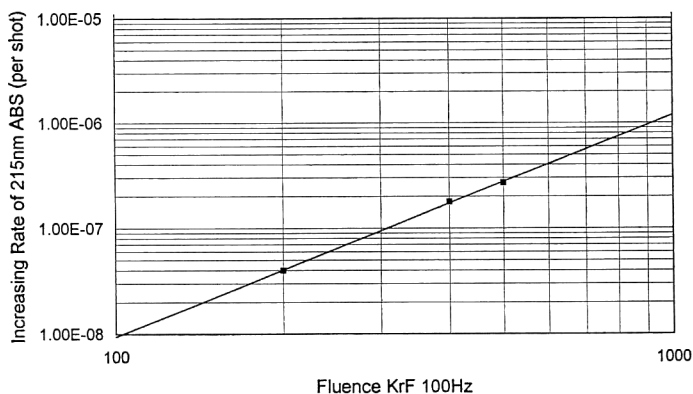


図 2 KrF レーザー 1 ショットあたりの Suprasil P-10 の 215 nm 吸光度の増加率

compaction). Radiation compaction においてもレーザー光と石英ガラスの相互作用として、やはり 2 光子吸収により反応が進むと考えられている。

4. KrF 用石英ガラスの今後の課題

以上述べてきたように Suprasil P-10 においては現状のレベルで KrF 露光用途への問題はほとんどクリアしていると考えているが、残された問題として、エキシマレーザー耐性における周波数依存性の解析が遅れている点が挙げられる。今後、露光時間の短縮化からレーザーの発振周波数は高くなることが予想されるのでこの点を中心に解析を行っていきたい。

5. ArF 用石英ガラスの可能性

ArF エキシマレーザー露光用途における石英ガラスの問題として、初期透過率およびレーザー耐性の問題が深刻である。石英ガラスに対する金属汚染は 190 nm 付近の透過率低下をもたらすため、われわれはこの汚染を

極力低減することにより 99% 以上の透過率を達成しているが、今後も改善の余地を残している。

ArF レーザーはわれわれの試算では KrF レーザーの 100 倍以上の速度でダメージが進行する。このダメージ進行速度の差は ArF (6.4 eV) と KrF (5.0 eV) のフォトンエネルギーの差に起因していると思われるが、ArF 照射の場合には硝材に対しても桁違いの耐性が要求される。現状では 1 mJ/cm² 以下の小さなフルエンスで使用可能かもしれないというレベルであるが、今後より一層の改善を期したい。

文 献

- 1) 牛田一雄：“ステッパー用石英ガラスについて”，New Glass, 6, 2 (1989) 191-196.
- 2) 加納一郎：“エキシマ”，STEP資料，1990年12月12日.
- 3) A.K. Ptou and W.N. Partlo: Appl. Opt., 31 (1992) 6658-6661.
- 4) D.L. Griscom: The Centennial Memorial Issue of Ceramic Society of Japan, 99 (1991) 923-942.

(1994年6月29日受理)