

北海道大学工学部

○久保孝幸 篠田健一郎 柴田隆行 高橋義美 牧野英司 池田正幸

要 旨

ArF、KrFエキシマレーザを用いて大気中で水晶板の加工を行い、レーザ共振波長が加工特性におよぼす影響について検討した。KrFレーザを用いた場合にはフルエンスによらず照射パルス数を増加させると貝殻状の割れが入り大気中での加工は困難であることがわかった。ArFレーザを用いた場合には裏面も加工され、加工速度は0.3 $\mu\text{m}/\text{pulse}$ となりおもて面より大きく、また加工のしきい値も低くなることがわかった。

1. はじめに

近年、移動体通信の普及にともない100MHz以上の高い周波数で共振する水晶振動子が要求されている。そのためには、水晶板を厚さ数十 μm まで加工する必要があるが、従来のポリシングやラッピングなどの機械加工ではその実現は困難となっている。そこで本研究では、エキシマレーザ照射による水晶薄片化の基礎研究として、ArFおよびKrFレーザを用いて大気中で照射実験を行い、レーザ共振波長が加工特性におよぼす影響について検討した。

2. 実験装置および方法

エキシマレーザ装置(MPBテクノロジー社製AQX-150)は、封入する希ガスを変えArFまたはKrFレーザとして共振させた。レーザ光は合成石英レンズ(焦点距離500mm)で集光し大気中で試料に垂直に照射した。表1に実験条件を示す。フルエンスは、試料を焦点からレーザ共振器側の各位置に置いて照射面積を変えることにより変化させた。共振周波数Manualとは、手動操作により所定の回数だけ照射したことを示す。試料は、両面ポリシングを行ったATカット水晶板(0.002 $\mu\text{mR}_{\text{rms}}$ 以下)を使用した。

加工面はSEMで観察し、加工深さおよび表面あらさは触針式表面あらさ計により測定した。加工速度は、1パルス当たりの加工深さとした。

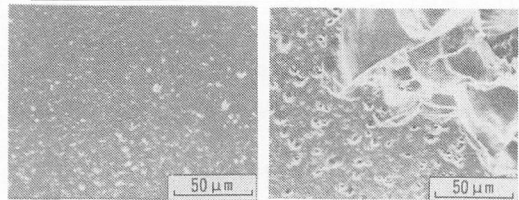
3. 実験結果および考察

図1はKrFレーザで加工を行い、パルス数を変化させたときの加工面中央部のSEM写真である。5パルス照射では小さな穴が数多く見られる。照射パルス数を22パルスまで増加させると小さな穴の部分に貝殻状の割れが入り、さらに割れが大きく広がったところも見られる(写真右上)。KrFレーザを用いた場合には、フルエンスによらず照射パルス数を増加させると全ての試料で同様の割れが入った。また、試料が異なると同一条件で加工を行っても割れが入る照射パルス数が異なり、加工形態は個々の試料で変化した。

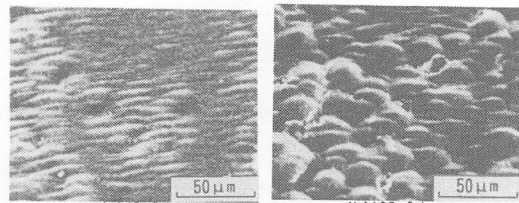
図2はArFレーザを用い、フルエンス703 mJ/cm^2 の条件でパルス数を変化させたときの裏面の加工面中央部のSEM写真である。この条件ではおもて面は加工されず裏

表1. 実験条件

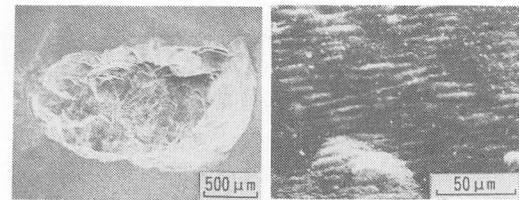
	ArF	KrF
波長(nm)	193	248
光子エネルギー(eV)	6.4	5.0
フルエンス(mJ/cm^2)	506~1551	837~4167
照射パルス数(pulse)	5~240	1~35
パルス周波数(Hz)	12	Manual



(a)5パルス (b)22パルス
図1. 照射パルス数による加工面の変化
(KrFレーザ, 2937 mJ/cm^2)



(a)48パルス (b)20パルス
図2. 照射パルス数による加工面の変化
(ArFレーザ裏面 703 mJ/cm^2)



(a)おもて面 (b)裏面
図3. 加工面のSEM写真
(ArFレーザ, 1134 mJ/cm^2 , 60パルス)

面のみが加工された。加工面は、方向性のある波状の組織となっており、照射パルス数を増加させると個々の凹凸が大きくなるのがわかる。

図3は、フルエンス $1134\text{mJ}/\text{cm}^2$ のときのおもてと裏の加工面のSEM写真である。このようにフルエンスを大きくするとおもて面も加工される。しかし、照射パルス数が60パルス以上では図のようにおもて面に割れが入った。裏面は図2と同様の波状の組織となっている。しかし、おもて面が加工されると裏面は部分的に加工された。

図4は、フルエンスを $1532\text{mJ}/\text{cm}^2$ として照射パルス数を変化させたときのおもてと裏の加工面である。図からおもての加工面には、微細な凹凸が見られる。照射パルス数を増加させると微細な凹凸の数が増加し、さらに図中矢印で示したように小さな貝殻状の割れが入る。一方、裏面は図2と同様な波状の組織が見られ、照射パルス数の増加に伴い凹凸が大きくなるのがわかる。この条件でも裏面は、一様な深さには加工されていない。

このように表裏両面が加工されるのは、水晶の透過率がこの波長に対して80%以上あり、光エネルギーが裏面まで十分に到達するためと考えられる。また、フルエンスが低いと裏面だけが加工されることから、おもて面より裏面の方が低いフルエンスで加工が起こることがわかる。裏面では照射パルス数を増加させても割れずに加工され、 $703\text{mJ}/\text{cm}^2$ のときには加工深さ $80\mu\text{m}$ まで加工したが割れは見られなかった。

図5は、フルエンスと加工速度の関係である。加工速度は割れの入らなかった条件でのみ評価している。KrFレーザーの場合には $1500\text{mJ}/\text{cm}^2$ 付近までは加工されないが、 $1500\text{mJ}/\text{cm}^2$ を越えると急に加工が起こることがわかる。加工速度はフルエンスの増加とともに $0.1\mu\text{m}/\text{pulse}$ から $0.15\mu\text{m}/\text{pulse}$ とわずかに大きくなっている。ArFレーザーの場合には $1100\text{mJ}/\text{cm}^2$ 付近で加工が起こり、KrFレーザーの場合よりも加工のしきい値は低い。加工速度はKrFレーザーとそれほど変わらないが、KrFレーザーのときに比べてフルエンスが増加すれば加工速度は増加する。一方、裏面が加工された $703\text{mJ}/\text{cm}^2$ のときには加工速度は約 $0.3\mu\text{m}/\text{pulse}$ となりおもて面よりも大きかった。

図6はKrFレーザーの場合の加工深さと表面あらさの関係である。表面あらさはフルエンスに依存せず、ほぼ加工深さに比例して増加している。ArFレーザーの場合は、図7に示すようにフルエンスが同じであれば表面あらさは加工深さに比例して増加する。同じ加工深さではフルエンスが高いほど表面あらさは小さくなっている。裏面だけ加工されたときの表面あらさは、おもて面同様に加工深さに比例して増加する傾向にあった。加工深さ $22.6\mu\text{m}$ のとき $5.43\mu\text{mR}_{\text{max}}$ となりおもて面と同程度であった。

4. まとめ

KrFレーザー加工ではフルエンスによらず照射パルス数を増加させると貝殻状の割れが入る。ArFレーザー加工ではおもて面と同時に裏面も加工される。おもて面と比較して裏面の加工速度は $0.3\mu\text{m}/\text{pulse}$ と大きく、また、加工のしきい値は $703\text{mJ}/\text{cm}^2$ となり低いフルエンスで加工される。

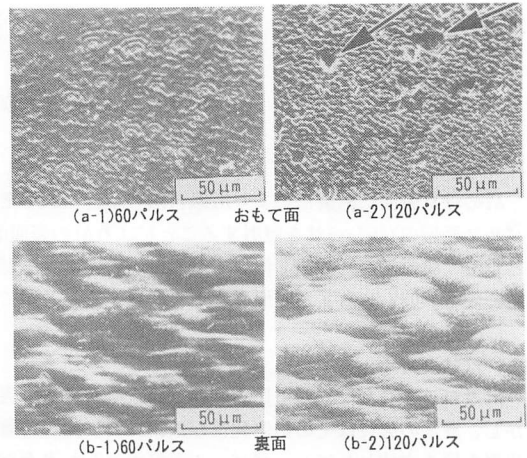


図4. 照射パルス数による加工面の変化 (ArFレーザー, $1532\text{mJ}/\text{cm}^2$)

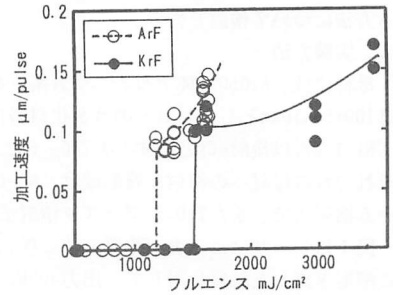


図5. フルエンスと加工速度の関係

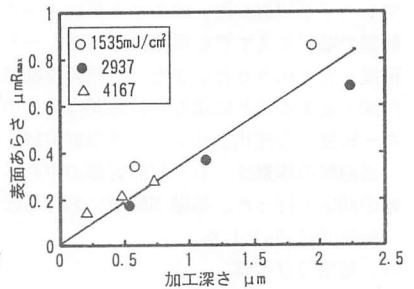


図6. 加工深さと表面あらさの関係 (KrFレーザー)

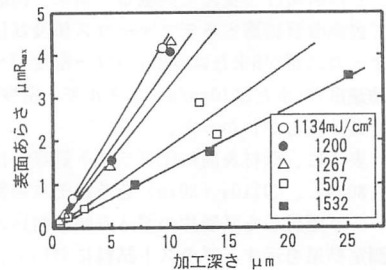


図7. 加工深さと表面あらさの関係 (ArFレーザー, おもて面)