

北海道大学工学部
日本電波工業(株)

○新輪 隆 齊藤 勝 柴田隆行 高橋義美 牧野英司 池田正幸
千葉重紀雄

要 旨

CF₂Br₂ 反応ガス雰囲気中において水晶にエキシマレーザ光を照射して加工実験を行った。その結果、フルエンス 200~400mJ/cm² の範囲では反応ガスによって化学的加工が起り、表面あらさ 20nmRy 以下の平滑な加工面が得られた。フルエンス 400mJ/cm² 以上ではレーザ光による直接的な加工が起り表面あらさが大きくなった。また、加工速度はガス圧に依存し、ガス圧 10Torr で加工速度は最大となった。

1. はじめに

近年の移動体通信の普及にともない、水晶振動子のより高い周波数帯での発振が期待されている。しかし、高い基本波を得るためには水晶を十数μm まで精度良く薄片化することが必要である。前報¹⁾までは大気中での水晶のエキシマレーザ加工特性について評価を行った。大気中での加工では加工速度 200nm/pulse が得られるが、表面あらさは数~数十μmRy と大きくなり、水晶振動子としての使用は困難となる。

本研究では、平滑な加工面性状を得るために CF₂Br₂ 反応ガス雰囲気中での水晶のエキシマレーザ加工を行い、その加工特性について評価した。

2. 実験装置および方法

図1に実験装置の概略図を示す。一般に、反応ガス雰囲気中の加工では窓材の劣化やレーザ光の吸収が問題となる。そこで、本研究では水晶試料を真空チャンバの窓として用い、試料の片面にだけ反応ガスを接触させ加工を行った。これによって、加工面上での正確なフルエンスを評価できる。ArF エキシマレーザ装置は MPB テクノロジー社製の AQX-150 を使用した。レーザ光は MgF₂ レンズ (f=500mm) で集光させ水晶試料上に垂直に照射した。このときのレーザ光の形状は楕円形であった。フルエンスはレンズの位置を変えることによって照射面積を変化させ調節した。反応ガスは CF₂Br₂ ガス (純度 99.0%) を用い、所定の圧力で使用した。試料は厚さ 0.35mm の両面ポリッシングを行った AT カット水晶板 (表面あらさ 2nmRy 以下) を用いた。加工面の観察は金属顕微鏡、SEM によって行った。加工形状および表面あらさは触針式表面あらさ計によって測定した。

3. 実験結果および考察

図2はフルエンス 261mJ/cm²、ガス圧 1Torr、照射パルス数 21600 パルスの条件で加工を行ったときの結果である。(a)の加工面の外観写真および模式図のAで示す領域の長軸方向の長さは 6.5mm であり、短軸方向の長さは 1.4mm である。(b)、(c)の断面形状から、加工された領域の幅 (以下、加工幅) は、長軸方向で 5.5mm、短軸方向で 1.5mm となっており、加工面に見られる A の領域にほぼ対応している。(a)のBで示した領域はレーザ光が照射された領域と対応している。しかし、断面形状からこの部分ではレーザ光が照射されても加工が行われなかった

未加工部分であることがわかる。Cで示した領域は付着物の堆積した部分である。この付着物は CF₂ ラジカルが重合してできたポリマーと考えられ²⁾、表面を軽く拭くことによって取り除くことができる。加工深さは 270nm であり、加工速度は 0.013nm/pulse となっている。また、(d)のあらさ曲線から表面あらさは約 18nmRy であり、平滑な加工面となっている。

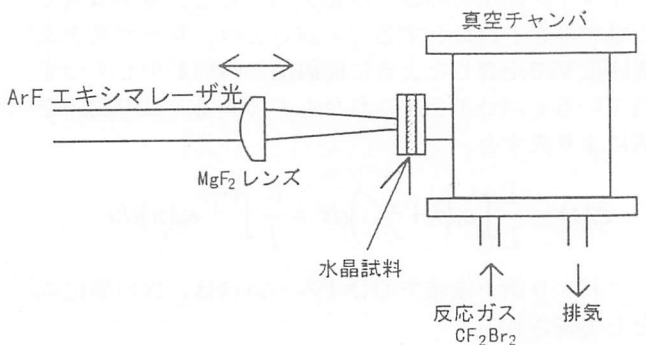


図1 実験装置の概略図

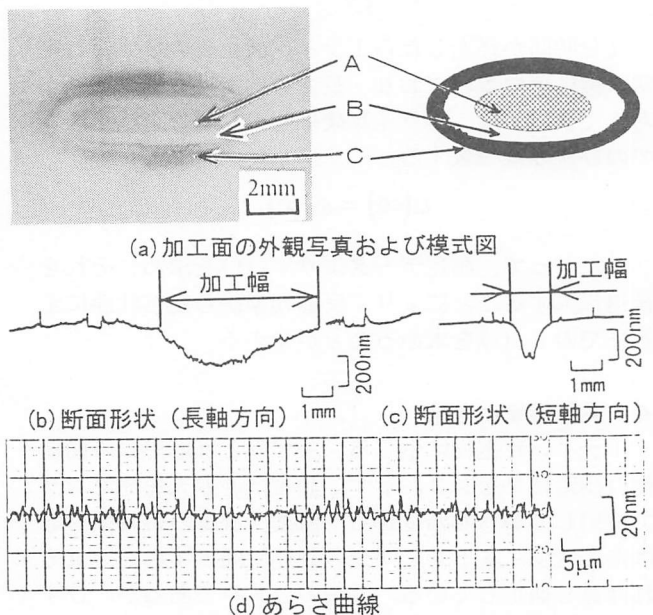


図2 加工面の外観写真と断面形状およびあらさ曲線 (フルエンス 261mJ/cm²、ガス圧 1Torr、21600パルス)

図3はフルエンス $420\text{mJ}/\text{cm}^2$ と大きくしたときの結果である。図2と同様に加工面の外観(a)における中心部分は加工が行われた領域に対応しており、未加工部分の周囲には付着物が堆積している。(c)、(d)の断面形状から加工幅は長軸方向で 3.6mm であり、短軸方向は 1.4mm である。また、加工深さは 790nm であり、加工速度は $0.036\text{nm}/\text{pulse}$ となっている。加工面の中央部を拡大した写真(b)から、加工面には図中矢印で示した楕円状の模様と微小な凹凸が観察される。この楕円状の模様の幅は、断面形状(図(c)、(d))の中央部分にある凹凸の激しい部分に対応している。この凹凸の高さは約 500nm であり、粗い加工面となっている。

図4はフルエンスをさらに $480\text{mJ}/\text{cm}^2$ と大きくしたときの結果である。照射パルス数は 192 パルスである。(c)、(d)の断面形状から、加工深さは $28\mu\text{m}$ であり、加工速度は $146\text{nm}/\text{pulse}$ となっている。これは大気中での加工とほぼ同じ値である。加工幅は長軸方向で 2.4mm 、短軸方向で 0.7mm である。表面あらかさは $1\mu\text{mRy}$ と、図2の表面あらかさの約 50 倍以上であり、非常に粗い表面となっている。この条件ではレーザー照射中に加工面付近からの発光が確認された。このような現象は、大気中において水晶にエキシマレーザー光を照射して加工した場合に見られたものと同様である。

図5はガス圧 1Torr の条件でのフルエンスと加工速度の関係である。加工が起こるフルエンスのしきい値は約 $200\text{mJ}/\text{cm}^2$ である。フルエンス $400\text{mJ}/\text{cm}^2$ まではフルエンスの増加とともに緩やかに加工速度が増加する。この範囲での表面あらかさは 20nmRy 以下となっており、反応ガスによって加工が行われているものと考えられる。しかし、フルエンスが $400\text{mJ}/\text{cm}^2$ より大きくなると、加工速度が急激に増加し、フルエンス $480\text{mJ}/\text{cm}^2$ では大気中での加工とほぼ同じ値となっている。また、表面あらかさも $1\mu\text{mRy}$ 程度まで急激に増加することから、フルエンス $400\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上ではレーザー光による直接的な加工が支配的になっていると考えられる。

図6はフルエンス $261\text{mJ}/\text{cm}^2$ の条件でのガス圧と加工速度の関係である。ガス圧が高くなると加工速度も増加するが、ガス圧が 10Torr より高くなると加工速度は急激に減少している。加工速度が大きなガス圧 10Torr の条件においても、表面あらかさ 20nmRy 程度の平滑な加工面が得られた。

4. まとめ

1) CF_2Br_2 ガス雰囲気中で水晶にエキシマレーザー光を照射することによって表面あらかさ 20nmRy 以下の平滑な加工面が得られる。

2) 加工が起こるフルエンスのしきい値は約 $200\text{mJ}/\text{cm}^2$ であり、フルエンス約 $400\text{mJ}/\text{cm}^2$ までは反応ガスによる化学的加工が行われる。フルエンス約 $400\text{mJ}/\text{cm}^2$ 以上になるとレーザー光による直接的な加工が支配的となり表面あらかさが大きくなる。

3) ガス圧が高くなるにしたがって加工速度は増加するが、ガス圧が 10Torr 以上では加工速度は急激に減少する。

参考文献

- 1) 篠田健一郎ほか:1994年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集(1994)639.
- 2) J.H.Brannon:J.Phys.Chem..90.(1986)1784.

