19p-D1-20

レーザープラズマ軟X線によるシリカガラスのアブレーション

Ablation of Silica Glass Using Laser Plasma Soft X-rays

筑波大院 電子·物理工学¹, 産総研 環境化学技術²⁰鳥居 周一¹, 牧村 哲也¹,新納 弘之², 村上 浩一¹Inst. of Applied Physics, Univ. of Tsukuba¹, AIST²,[°]Shuichi Torii¹, Tetsuya Makimura¹, Hiroyuki Niino², Kouichi Murakami¹

E-mail: s1030113@u.tsukuba.ac.jp

本研究グループではレーザープラズマ軟X線照射によって、シリカガラスのアブレーション加 工を実現してきた¹⁻³⁾. 従来のレーザーアブレーション加工において、解像度を制限する要因とし て熱拡散があった. しかしながら軟X線アブレーションの場合、パルス幅 10 ns における熱拡散長 92~140 nmよりも微細な50 nmの構造が作製された³⁾. このことから熱拡散によって制限されない、 特徴的なアブレーションメカニズムが働いていると考えられる. 本研究では、このメカニズムの 詳細について調べた. これにより、高強度軟X線と材料の相互作用について理解することが期待 できる.

図 1 にレーザープラズマ軟X線照射装置,およびアブレーション放出イオン検出装置を示す. Nd:YAG レーザー光(*L*) を Ta ターゲット(*T*) に照射することで,レーザープラズマ軟X線(*X*) を発生させた.これを楕円ミラー(*M*) によって集光してシリカガラス(*S*) に照射した.アブレ ーションによって放出されるイオン(*I*) を,検出電極(*E*) によって測定した.さらにイオンの運 動エネルギーを,グリッド(*G*) に阻止電圧 V を印加することにより測定した.

図 2 にレーザープラズマ軟X線のパワー密度と、シリカガラスのアブレーションレートの関係 を示す.アブレーション閾値 $P_{th}=6\times10^6$ W/cm²より高パワー密度の領域で、パワー密度Pとアブレ ーションレート D は、 $D=1/\alpha$ ln P/P_{th} の関係にあることが分かった.ここで α は、相互作用の強さを 表す係数であり、 $\alpha = 9\times10^5$ cm⁻¹ (1/ $\alpha=11$ nm)である.これに対してシリカガラス固有な光吸収係 数 α_{abs} は、100 eV の軟X線において $\alpha_{abs}=9\times10^4$ cm⁻¹ (1/ $\alpha_{abs}=111$ nm)である.この結果は、軟X線と シリカガラスの間で強い相互作用が働き、効率的なアブレーションが起きていることを示してい る.さらにシリカガラスからは、熱的な蒸発では説明できないほどに高い運動エネルギーのイオ ンが放出されていることが明らかとなった.このようなアブレーションが起きるプロセスは、シ リカガラス表面からの電子放出によって生成した正孔間の、クーロン反発力によって説明できる. この正孔間で蓄積される静電エネルギーは、時間に対して非線形に増加する.これにより 軟X線 のパルス幅10 ns より速い時間に、固体の SiO₂を Si ガスおよび O ガスにするために必要なエネル ギー77 kJ/cm³ を超えると評価できる.正孔が生成する深さは表面から10 nm 程度であり、これが 1/ α を決定していると理解できる.このような熱拡散が起きるより速く表面から放出されるプロセ スによって、高品位なナノ加工が実現したと考えられる.以上の研究により、軟X線照射した場 合に、シリカガラスの微細加工に有用なアブレーションプロセスが働いていることを見出した.



T. Makimura et al., Appl. Phys. Lett. 85 (2004) 1274.
T. Makimura et al., Appl. Phys. Lett. 86 (2005) 103111.
T. Makimura et al., Appl. Phys. Lett. 89 (2006) 101118.