

結晶性シリコン基板上的フェムト秒レーザーアブレーションによる デブリ形成に対する大気の影響

Effect of air on debris formation in femtosecond laser ablation of crystalline Si

東海大理物理¹, 昭和電線ケーブルシステム², 城西中学校³, フォーラムエンジニアリング⁴

○八木隆志¹, 大達剛^{1,2}, 坂本領介^{1,3}, 原健人^{1,4}

Tokai Univ.¹, Showa Cable Systems², Josai Junior High School³, Forum Engineering⁴

○Takashi Yagi¹, Go Odachi^{1,2}, Ryosuke Sakamoto^{1,3}, Kento Hara^{1,4}

E-mail: Takyag@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

ガス雰囲気中でのフェムト秒レーザーによる物質のアブレーションでは、ガスの超高温液体状態になった母材の冷却過程への影響とアブレーションガスに含まれる励起原子との反応などによる反応性生物がデブリの生成に大きな影響を及ぼす。

今回の発表では、1 気圧の大気中においてフェムト秒レーザーによるアブレーション生成物の形状と組成を調査した結果を述べる。アブレーション生成物は綿のような形状を示し、アブレーションで形成された孔周辺に堆積している。孔から 10 μ m 程度以上離れた位置においては多数の直径~150nm 程度以下の球形微粒子がくもの巣状の物質でリンクされた形状を示す。TEM 観察によれば、これ等の微粒子は単結晶性あるいは多結晶性のシリコンであり、微粒子を結合しているくもの巣状の物質は更に微小な直径が~5nm 程度の粒子、あるいはアモルフォス状の物質で構成される。これ等の微粒子は熔融シリコンが大気中で破断あるいは併合された結果と考えられる。電子線回折の結果によれば、これらの微粒子群に微小な割合で結晶性石英が混在することが分かった。綿状の物質はエネルギー分散測定した結果ではシリコン酸化物であり、シリコンと酸素の原子数比が SiO₂ に近いものであった。

他方、真空中でのアブレーションにより生成されるデブリはほとんどが球形であり、孔周辺でのみ、球形から変形した状態であり、基板に着地した時点で熔融状態であったことを物語る。。孔から 3mm 離れた位置に設置した TEM グリッド上に蓄積された微粒子は直径が 150nm 以下であり、完全結晶を示している。液体シリコンの表面振動と緩和時間の解析から、破断した熔融シリコンが球形となる時間として~10ns 程度、球形になった熔融シリコンが TEM グリッドに到達するまでの時間が~100 μ s であり、黒体輻射冷却に基づく推察により、熔融シリコンの初期温度が~2000K 程度であることが分かった。これ等の熔融シリコン微粒子が飛行中に固化する時点での冷却速度は結晶成長を十分に可能とする 10⁶ K/s 程度であることが分かった。

1. G. Odachi, K. Hara, R. Sakamoto, Appl. Surf. Sci., 261, 174 (2012)
2. G. Odachi, R. Sakamoto, K. Hara, to be published on Appl. Surf. Sci., (2013)