

フェムト秒レーザーサブミクロン加工に伴う低フルーエンスでのナノ粒子とナノピラーの成長

Growth of Nano-Pillars and Particles Irradiated with Fluence below Ablation Threshold in Femtosecond Laser Sub-Micron Machining

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

フェムト秒レーザーによる物質の超高速励起、およびそれに引き続いて起こる物質系の緩和過程はあたかも時間領域におけるクロマトグラフィーのように様々な物理現象として発現される。我々は、フェムト秒レーザーと物質との相互作用を解明することで、コントローラブルなサブミクロン加工の可能性を追求してきた。特に、加工性能を左右する加工形状の制御性とアブレーションに伴い生成されるデブリの形成メカニズムが問題となる。レーザービームの集光スポット径が 1μ 程度の場合、サブミクロン加工を行うためにはレーザーのフルーエンスがアブレーション閾値程度となるが、この際レーザー照射によりナノメートルオーダーの様々な形状が発現される。

今回の発表では、フェムト秒レーザーにより 1μ 程度の孔を真空内で結晶性シリコン表面、(100)面、に形成し、その形状とデブリの形態を調査した。アブレーションで形成された孔の断面を FIB (Focused Ion Beam) により切り出し、孔の内部を SEM により観察した。その結果、レーザーフルーエンスがアブレーション閾値以下である孔の側壁からナノメートルサイズのピラーが成長していること、およびピラーが抜けた跡が見られた。更に、ピラー成長の前段階と思われる膨らみが 120° の角度で互いに接するように形成されていて、(111)結晶面の対称性を反映して成長したと考えられる。また、孔周縁において、マルチショットアブレーション閾値以下でレーザー照射を受けたと思われる部位でナノメートルサイズの微粒子が成長していることが観察された。シリコン基板上でこれ等のナノ粒子周辺の表面が落ち込んでいて、明らかに物質が無くなっていることが分かった。これらのナノ粒子形成メカニズムとして、レーザー照射に伴うアモルフォス層の形成、および微粒子周辺の物質が溶融し、表面張力によりこれ等の微粒子に吸収されることで結晶成長することが考えられる。つまり、物質移動によりデブリの微粒子が形成される。これは、通常のアブレーションに伴う超高温液体状態から生成される液滴 (nano-droplets) とは完全に異なった生成メカニズムであり、アブレーションの動的な過程 (dynamic process) に対して静的過程 (static process) と言えるものとする。これ等のナノ粒子およびナノピラーはアブレーションガスにより吹き飛ばされて孔周辺に体積し、サブミクロン加工における主要な汚染要因 (degrading factor) であると考えられる。

1. G. Odachi, K. Hara, R. Sakamoto, Appl. Surf. Sci., 261, 174 (2012)