

真空紫外 F₂レーザーによるアルミニウム薄膜の高密度酸化

防衛大学校 電気情報学群 電気電子工学科

准教授 大越昌幸

(平成 18 年度奨励研究助成 AF-2006026)

キーワード: F₂レーザー, アルミニウム, 酸化

1. 研究の目的と背景

近年, レーザーによる材料の微細加工に関する研究が盛んである. 微細加工用光源として, パルス幅がフェムト秒 (fs) の超短パルスレーザーが, その有力候補の一つである¹⁾. 微細加工における fs レーザーの利用は, 加工部周辺の熱影響領域を極めて小さくできること²⁾, 透明材料 (主にシリカガラス (SiO₂)) 内部での各種微細加工が可能になる^{3,4)}など, これまで困難とされてきた加工が次々と現実のものになっている. これらは, レーザーの有する超短パルス性が故のものであり, ユニークな微細加工法と言える. また fs レーザーの多くは, その発振波長が近赤外域にあり, 微細加工には有利ではないように見えるが, その高い尖頭出力により材料の非線形吸収 (多光子過程) を誘起できることから, 回折限界を超えたナノサイズ加工も可能となってきた⁵⁾.

一方, パルス幅は高々ナノ秒 (ns) とやや長めであるが, 高出力の紫外レーザーも微細加工用光源として有力である⁶⁾. このことは, リソグラフィにおいて紫外レーザーが必要不可欠であることから理解できる⁷⁾. リソグラフィ以外のレーザー微細加工研究分野においても, その基礎過程となるレーザーアブレーションは紫外 ns レーザーの利用により飛躍的に進展し⁸⁾, さらに光源の短波長化は微細加工のサイズおよび質において効果大である. 商用化レーザー中最短波長である F₂レーザー (波長 157 nm) を用いると, 先の fs レーザーと同様, 透明材料の微細加工なども可能となる⁹⁾. この場合, 多くの材料は F₂レーザー波長に強い光吸収を持つことから, 透明な光学材料においても効率良く光吸収が起こり, 「薄皮を剥ぎ取るような」アブレーション加工が可能となる. 従って, 被加工材料がシリカガラスの場合においても, 極めて平滑, かつクラッ

クフリーに微細加工を施すことができる. この手法により, シリカガラスにマイクロレンズやグレーティング, マイクロチャネルなどが形成されている¹⁰⁾. また F₂レーザーは, シリカガラスの屈折率変化を誘起することもできるため, その内部に光導波路を形成する報告もある¹¹⁾. 従って, 微細加工における紫外レーザー利用の利点は, 短波長が故の加工サイズの縮小, 強い 1 光子吸収による低エッチング速度での精密加工である. もちろん, 光量子としての利用も有効である. このように紫外レーザーによる微細加工は, フォトニクスあるいはバイオフォトニクス分野においても有望な技術となる可能性が高い.

これまでわれわれは, 上記アブレーション微細加工とは異なり, 酸素雰囲気中でのシリコーン (有機ポリシロキサン) [SiO(CH₃)₂]_nへの F₂レーザー照射により, 露光部分が隆起し, かつその隆起部全体が炭素混入の極めて少ないシリカガラスに光化学改質される現象を見出してきている¹²⁾. そして, その光化学表面改質法を基に, 線幅 8~16 μm のスリットを有する Cr/CaF₂ フォトマスクを用いて, F₂レーザー露光領域を制限しシリカガラス細線を形成した. このシリカガラス細線の, 光導波路としての機能を調べるために, 波長 635 nm および 1550 nm 光を, 光ファイバーを介してシリカガラス細線端面から入射させ, そのときの光導波路特性について調べてきた¹³⁾. 本研究では, この F₂レーザー誘起酸化反応を, アルミニウムを代表とする金属薄膜に適用し, 有機のみならず無機材料表面も, 室温・大気中で位置選択的に高密度に酸化させることができる手法を確立するための基礎的実験を行うことを目的としている^{14,15)}.

2. 実験方法

被照射試料として、スライドガラス基板上に真空蒸着したアルミニウム薄膜（膜厚約 20 nm）を用いた。その試料表面に、長さ 2 mm、幅 100 μm のスリットを 3 本有する金属マスクを密着させ、 CaF_2 レンズ（焦点距離 350 mm）を介して F_2 レーザーを照射した。レーザーのパルス繰り返し周波数は 10 Hz、照射時間は 60 min とした。

3. 実験結果および考察

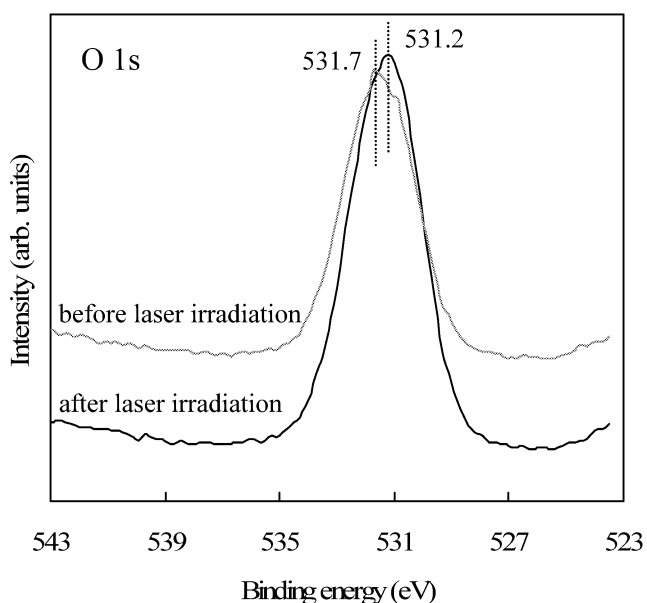
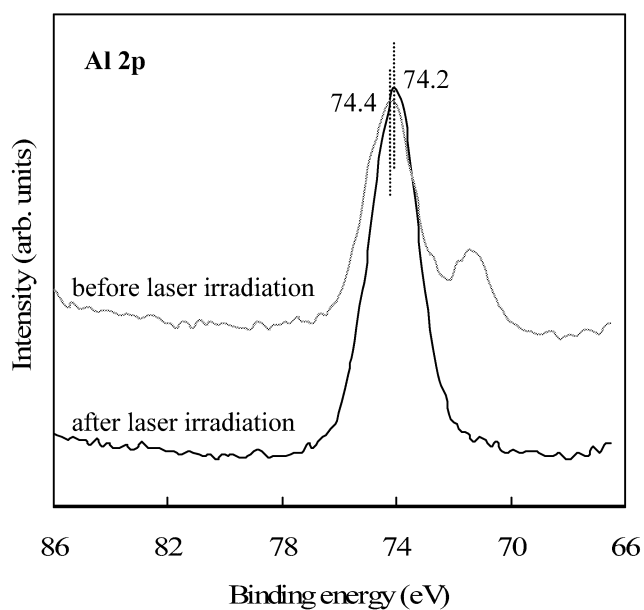


図1 XPS スペクトル

図1に、レーザー照射前後のX線光電子分光(XPS)分析の結果を示す。Al 2pのXPSスペクトルを測定してみると、レーザー照射後、ピークの位置および形状が変化し、強度も強くなっていることがわかった。そしてこのピーク位置(77.4 eV)は、 Al_2O_3 の範囲に位置していた。また、O 1sスペクトルにおいても、ピーク強度が著しく強くなっており、酸化反応が顕著に進んでいることが明らかとなった。

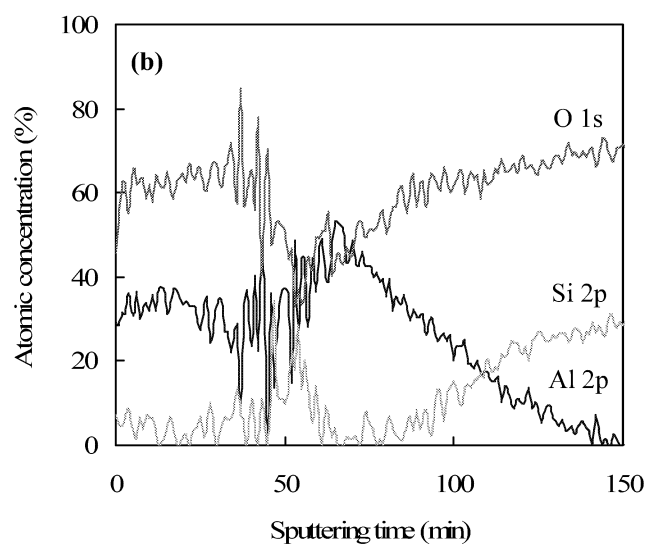
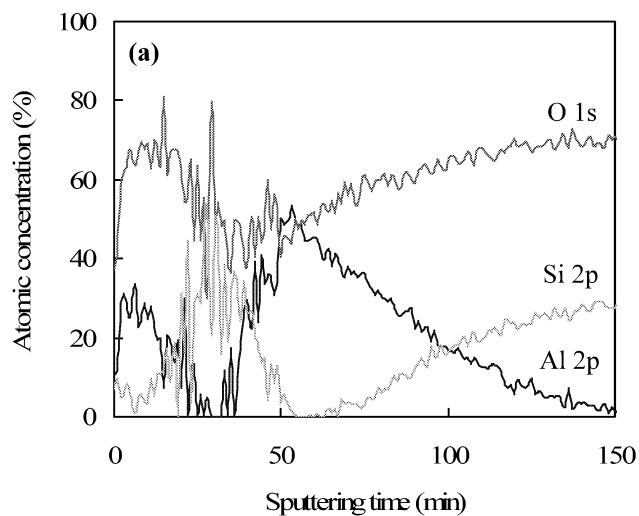


図2 XPS スペクトル (深さ方向の分析)

図2は、XPSによる膜の深さ方向の分析結果を示している。スパッタリングにはArイオンを用い、その加速電圧を4kVとした。レーザー照射前のアルミニウム膜(図2(a))に比べて、レーザー照射後(図2(b))、高密度に酸化したことにより、Al 2pの光電子シグナルが深くまで続いていることがわかった。これは、高密度酸化によりAl₂O₃層が形成し、オリジナルのアルミニウム膜よりも、膜厚が増加したためである。この膜厚増加は、触針式段差計による測定からも明らかとなった。

F₂レーザー照射後、試料をKOH水溶液(濃度約3.5wt.%)に浸漬した結果を図3に示す。未露光部分のアルミニウム薄膜は化学エッチングされ、露光部分の薄膜は耐薬品性を示した。このように、スライドガラス基板上的の任意の位置に、室温でAl₂O₃膜を形成することに成功した。今後、形成したAl₂O₃膜の結晶性を評価し、良質の結晶膜を得るためのレーザー照射条件を見出すとともに、膜厚の増加を試みる。

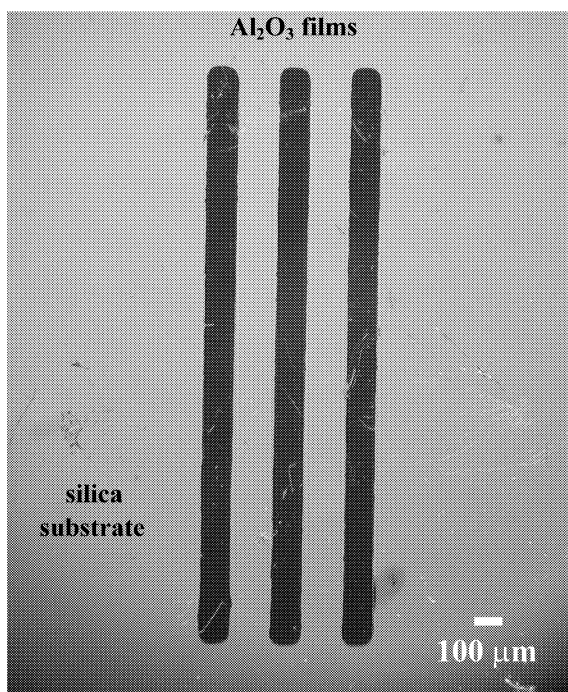


図3 スライドガラス基板の上に位置選択的に形成したAl₂O₃膜

4. 結論

F₂レーザー誘起酸化反応により、アルミニウム薄膜を高密度に酸化させ、位置選択的にAl₂O₃層を形成させることができた。またKOH溶液を用いた化学エッチングとの組み合わせにより、シリカガラス基板上に、Al₂O₃層のパターン形成が可能となった。今後この結果を基に、本手法が、マイクロ光デバイスの作製手法の一つとして寄与するものと考えられる。

参考文献

- 1) 小原 實、神成文彦、佐藤俊一：レーザー応用光学(共立出版、1998).
- 2) B. N. Chichkov, C. Momma, S. Nolte, F. von Alvensleben and A. Tünnermann: Appl. Phys. A 63 (1996) 109.
- 3) K. Miura, J. Qiu, H. Inouye, T. Mitsuyu and K. Hirao: Appl. Phys. Lett. 71 (1997) 3329.
- 4) D. Ashkenasi, H. Varel, A. Rosenfeld, S. Henz, J. Hermann and E. E. B. Campbell: Appl. Phys. Lett. 72 (1998) 1442.
- 5) M. Watanabe, H.-B. Sun, S. Juodkazis, T. Takahashi, S. Matsuo, Y. Suzuki, J. Nishii and H. Misawa: Jpn. J. Appl. Phys. 37 (1998) L1527.
- 6) H. Takao, M. Okoshi, H. Miyagami and N. Inoue: IEEE J. Sel. Top. Quant. 10(6) (2004).
- 7) J.C. White, H.G. Craighead, R.E. Howard, L.D. Jackel, R.E. Behringer, R.W. Epworth, D. Henderson and J.E. Sweeney: Appl. Phys. Lett. 44 (1984) 22.
- 8) Y. Kawamura, K. Toyoda and S. Namba: Appl. Phys. Lett. 40 (1982) 374.
- 9) P.E. Dyer and C.D. Walton: Appl. Phys. A 79 (2004) 721.
- 10) P.R. Herman, R.S. Marjoribanks, A. Oetl, K. Chen, I. Kononov and S. Ness: Appl. Surf. Sci. 154/155 (2000) 577.
- 11) P. R. Herman, K. P. Chen, P. Corkum, A. Naumov, S. Ng, and J. Zhang: Proc. SPIE 4088 (2000) 345.
- 12) H. Takao, M. Okoshi and N. Inoue: Jpn. J. Appl. Phys. 41 (2002) L1088.
- 13) M. Okoshi, J. Li and P. R. Herman: Opt. Lett. 30 (2005) 2730.
- 14) レーザー学会学術講演会第28回年次大会, 31pVI13 (2008) (発表予定).
- 15) 第55回応用物理学関係連合講演会 (2008) (発表予定).