

ディビジョン番号	2
ディビジョン名	光化学

大項目	2. 光化学の応用展開
中項目	2-3. フォトニクス
小項目	2-3-1. 超微細加工

<p>概要（200字以内）</p> <p>半導体微細加工に用いられているフォトリソグラフィ技術は、光源の短波長化や液浸レンズの利用により進化を遂げ、現状で45 nmの量産プロセスを実現させた。一方、可視・近赤外波長域のフェムト秒レーザービームの集光照射によって物質の多光子吸収を誘起し、回折限界を超えた波長以下のナノ加工が可能となっている。また、フェムト秒レーザー加工法は、リソグラフィでは実現できない立体加工技術としても応用されている。</p>	
<p>現状と最前線</p>	
<p>半導体微細加工に用いられているフォトリソグラフィ技術は、光化学を基礎とした重要な基盤産業技術である。フォトリソグラフィは、主に紫外波長域に感光性を持つ樹脂（レジスト）をシリコンなどの基板上に塗布した後、フォトマスクと呼ばれる光を透過する、または透過しないマスクパターンを通して露光し、その後化学的な現象を行ってレジスト膜の微細な凹凸パターンを基板上に形成する技術である。フォトリソグラフィによってレジスト膜が取り除かれた部分は基板が露出しているため、それぞれの基板に対応するエッチャント（エッチング剤）によってエッチングされ、基板の凹凸構造を形成することができる。これらの方法は、極めて精緻な半導体集積回路、ディスプレイパネル、さらにマイクロマシンの作製などに広く利用されている。光を用いて加工を行うフォトリソグラフィの加工分解能は、光の回折から逃れることができず、主に用いた光源の波長によって決まる。したがって、回路の集積密度の向上は、光源を短波長化し、より微細な回路パターンを描画することによって実現されてきた。現在、ArF エキシマーレーザー（波長 193 nm）と液浸レンズを用いた縮小露光光学系により 65 nm ノードの量産化が進められており、さらにその先にある 45 nm ノードの量産化も射程範囲内にある。一方、極端紫外光 (EUV) と呼ばれる波長 13~14 nm の軟 X 線を用いたリソグラフィ技術の開発も進められているが、装置のコストダウンなどが大きな問題となっている。</p>	

光源の短波長化による加工分解能の向上とは異なり、可視光を用いても近接場光や物質の多光子吸収を利用することにより、光の回折限界を超えた超微細加工も可能となる。フェムト秒レーザービームは、短いパルス幅内（7～500 fs）において極めて高い光子密度を有するため、物質との非線形的な相互作用が容易に観測される。たとえば、物質の吸収帯よりも長波長の波長領域であっても、フェムト秒レーザーを集光照射すると、集光スポットにおいては時間的にも空間的にも高い光子密度状態が形成されているため、2光子吸収を含む物質の多光子吸収がスポットにおいて容易に誘起される。このような集光フェムト秒レーザーパルス（波長 800 nm、パルス幅：140 fs）をサファイア基板内に照射することにより、結晶内部に直径 200 nm ほどの真円状の微小空洞を形成することが可能であることも報告されている。このフェムト秒レーザー加工技術は、難加工性材料（サファイア、シリコンカーバイド、ダイヤモンドなど）の表面、或いは内部加工に有用な技術となるものと期待されている。

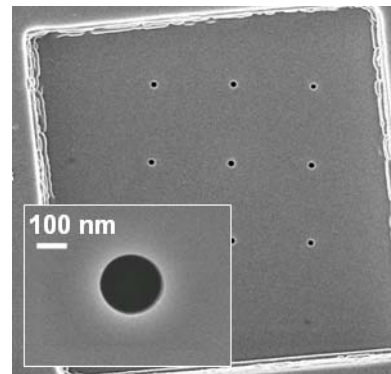


図1 集光フェムト秒レーザービームによるサファイア基板内部への加工（集束イオンビーム加工により加工部位を露出して電子顕微鏡観察を行った結果）

三澤弘明, *レーザー研究*, **30**, 239 (2001).

S. Juodkazis, H. Misawa et al. *Phys. Rev. Lett.* **96**, 166101 (2006).

S. Juodkazis, H. Misawa et al. *Adv. Mater.* **18**, 1361 (2006).

#### 将来予測と方向性

・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

- 1) 波長 193 nm 光源／液浸レンズ系リソグラフィーにおける 32 nm ノードの実現（量産化）
- 2) EUV（極端紫外光）リソグラフィー技術の確立と装置の低コスト化
- 3) ダイヤモンドやシリコンカーバイドを対象としたフェムト秒レーザー加工

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

- 4) EUV リソグラフィー技術における～10 nm 高分解加工の実現
- 5) フェムト秒レーザーによる高速 3 次元加工技術の実用化（高繰り返しレーザーによる加工の高速化）

#### キーワード

光リソグラフィー・回折限界・多光子吸収・フェムト秒レーザー・難加工性材料

（執筆者： 三澤弘明）