

## ◁研究会報告▷

## フォトンテクノロジーワークショップ報告

竹中 久貴 (NTT 境界領域研究所)

本ワークショップは通商産業省工業技術院産業科学技術研究開発制度による先導研究「フォトンテクノロジー」の一環として、新エネルギー・産業技術総合開発機構及び(株)日本オプトメカトロニクス協会の主催により平成8年3月11日、12日の2日間、工業技術院つくば研究センターにて開催された。テーマはレーザープロセス技術とハードフォトン技術に関するもので、314名が参加し、12件の招待講演(国内6件、国外6件)と98件のポスター講演(レーザープロセス技術:49件、ハードフォトン技術:49件)が行われた。

ここでは主としてハードフォトン技術に関する発表について報告する。

なお、ハードフォトン技術とはここでは0.1 nm から200 nm 程度の波長領域のフォトンビーム技術を意味している。

放射光に関連する招待講演として、化学反応利用の新しい加工技術が分子科学研究所の宇理須氏から、ハードフォトン用光学素子についてNIKONの村上氏から、また、放射光利用のX線縮小露光について電総研の阿刀田氏および筆者から報告された。

宇理須氏はジメチルアルミニウムハイドライド(DMAH)の低温凝集層を利用した放射光励起Al膜堆積および放射光励起ガスソースMBEにおける表面SiH<sub>n</sub>の検出とその光分解について報告し、前者についてはカーボン汚染が励起波長に顕著に依存することを見出し、後者については電子励起状態と基板電子との相互作用の違いが励起状態の寿命に大きく作用することを明らかにし

た。これらの結果をもとにサイトスペシフィックな励起と分子間相互作用の制御をベースとした化学的ナノ加工(Chemical nanometric process)という新しい加工法を提案した。

村上氏からは主としてX線縮小露光に使用する多層膜ミラーの今後の課題について報告があった。縮小露光では多層膜ミラーを複数枚使用するので波長が13 nm のとき光学系の波面収差やミラーの形状誤差、表面あらさに要求される条件が厳しく、いずれも nm レベル以下に抑える必要があること、現実には要求値に近いものが作製されつつあること、更に、多層膜ミラーの場合、波面収差に加え反射による位相の変化にも注意すべきことを述べ、今後の多層膜開発上の問題点を整理した。

阿刀田氏からはSORTECとニコンのグループで行ったX線縮小露光についての報告があった。波長5 nm と13 nm の軟X線用に開発したシュバルツシルト型多層膜反射光学系利用の縮小露光で露光面積は数10 μm 角程度ながら0.05 μm という高い解像度を有する微細パターンが実現できることが示された。

X線縮小露光ではこれまでは大面積に露光することが困難でNTTの開発した非球面光学系による2 mm × 0.6 mm が最大であり、LSIの1チップレベルまでは道のりが遠かったが、今回、NTTから、放射光を利用した照明光学系、多層膜反射マスク、2枚非球面縮小光学系、ウエハからなるシステムを用い、かつ、放射光ビームを揺動させることで得られる反射マスク上のリングフ

ワールドの露光領域をマスクとウエハの同期走査を用いることにより、1チップレベルの大面积に一括に露光できること、更に実際に10 mm×12 mm角に露光したことが報告された。放射光を使用した照明系のため縦方向ビームサイズの縮小等、光源のNAの拡大及び等方化の工夫や均一性の良い6インチ径の大型多層膜ミラーが使用され、そのミラーの形状精度が1.5 nm(rms)程度、2枚のミラーを組み上げた後で波面収差が2.3 nmと少ないこと、波面収差がほとんどミラーの形状精度のみに依存しており、ミラーの加工精度が0.7 nm以下になればこの波長での回折限界0.06  $\mu\text{m}$ の解像度が得られることが示された。

ポスターセッションにおいてもX線縮小リソグラフィ関連の発表がいくつかあり、日立の伊東氏らから波長13 nmでのシュバルツシルト型の縮小露光における反射型マスクの作製法および露光結果が示された。このマスクはまずMo/Si多層膜、10 nm厚のSiO<sub>2</sub>層、50 nm厚のX線吸収体W層を順次形成後、レジストを塗布し、電子線でパターン描画する。レジストをエッチングマスクとしたSF<sub>6</sub>による反応性イオンエッチングでWを加工した後、O<sub>2</sub>ガスでレジストを除去することで寸法0.25  $\mu\text{m}$ で急峻なパターンが得られること、及び、この方法で多層膜の損傷がほとんどないことを確認した。また、このマスクを用い、0.07  $\mu\text{m}$ のline & spaceを得ている。

軟X線の吸収の問題からリソグラフィ用のレジストは薄くする必要があり、このため多層レジストが広く使用されているが、プロセスが多くなることとコストが高くなる問題があった。SORTECの老泉氏らからはSi含有レジストを適用することで単層レジストにおいても0.1  $\mu\text{m}$ の高アスペクト比のパターンが形成され、これらの問題も解決に向かっていることが報告された。

これらの報告からX線縮小露光は要素技術の開発が進みつつあり、実証レベルで成果が認められ、今後、この研究は要素技術の高度化に加え、

デバイス試作可能なシステム開発に力が注がれていくものと考えられる。

分析・観測などの分野では、例えば、X線光電子分光、X線顕微鏡、更にこれらに適用する光学素子について多くの発表があった。

LSIや記録媒体などの0.1  $\mu\text{m}$ レベルの微小領域での材料の組成分析や化学状態分析にはX線光電子分光も利用されていたが、従来は面分解能が1 mm程度であった。そこで、米国を中心にシュバルツシルト型多層膜反射光学系を利用した微小部分分析用X線光電子分光について研究が進められていたが、本ワークショップにおいても数件の報告がなされた。オリンパスの堀川氏らからはシュバルツシルト光学系を使用し、0.05  $\mu\text{m}$ の分解能が得られたことが、また、日立の長谷川氏らからはウォルター型ミラーにより、0.5  $\mu\text{m}$ の分解能が得られていることが紹介された。これらの例も含め、日本でも放射光やレーザープラズマX線を光源に利用したX線光電子分光の研究が盛んになってきていることが感じられた。

X線顕微鏡ではNIKONおよび筑波大のグループから杉崎氏らがレーザープラズマ利用のウォルター型顕微鏡のシステムとウォーターウインド領域でのイースト細胞の観察例を、また、電総研の清水氏らがテーブルトップ型のレーザープラズマ型顕微鏡のシステムとミドリムシ観察について報告した。X線顕微鏡の開発も着々と進みつつあり、また、生物試料を中心に高い需要があるという印象を受けた。

X線マイクロビーム形成用素子についてはゾーンプレートについての紹介があった。電総研の廣島氏らから電子線描画により直径80  $\mu\text{m}$ 内に250のリングを持つフレネルゾーンプレートを形成したことが報告された。また、多層膜ミラーの応用にも関係するが、同じく電総研の小池氏らからAg/Al多層膜積層後面に垂直方向に切断し薄片化したものをGe(422)結晶に貼り付けブラッグフレネル素子を形成したことが報告された。大

阪工業技術研究所, 日立, 高工研のグループからは上條氏らが金ワイヤ(約 $50\mu\text{m}$ 径)上にAg/Cuなどの多層膜を形成し, これを薄く切断することでフレネルゾーンプレートを形成し, 8.54 keVのX線で $0.5\mu\text{m}$ のビーム径に絞れたことを報告した。積層型のゾーンプレートは成膜技術の進歩により, 高品質化が進んでおり, 今後の展開が期待される。

多層膜ミラーでは日本航空電子の伊藤氏らからイオンビーム法を用いたMo/Si多層膜の作製について, また, NTTの川村氏らからNiCr/CやNi/C多層膜の密度や界面あらしのX線定在波法による精密解析について, 更に, 東北大学のHu氏らから多層膜利用のフェーズシフターの開発についての報告がなされ, いずれも着実に研究が進んでいることが窺われた。

この他LIGAプロセスその他興味ある発表が多数あったが全部を回りきれなかったためご紹介できなかったことを深くお詫びする。

なお, ハードフォトン分野ではなくレーザープロセス分野ではあるが, レーザープラズマ光源の発表が多いことが印象に残った。例えば,

LLNLのKrupkeらがX線リソグラフィー用高繰返し・高出力型YMGレーザーで, 励起源としてフラッシュランプではなくレーザーダイオードアレイを用いることで730 Hz, 800 mJが得られたことを発表していた。このレーザーを光源に用いた場合, 光学系の設計次第では $10^9\sim 10^{10}$  photons/sec/0.1 nmの真空紫外光を得るのはそう難しくなく, ほぼ通常のベンディングマグネットと同程度の光が得られることになる。施設の規模を考えると, 放射光に比べレーザープラズマX線の方がコンパクトにできることから, 今後はある程度の住み分けがあるものと思われる。

以上, 本ワークショップのハードフォトン技術分野ではハードフォトン利用の化学反応プロセス, 縮小露光, 微小部分分析などに関連した発表が多かったが, これらの分野はまだ未知の領域が多く技術的に困難な部分が多く存在している。しかし, 利用上のメリットが極めて大きいこと, 米国, 欧州においても活発に研究が行われていることもあり, 本ワークショップが一つのきっかけになり, ますますハードフォトン関係の研究が発展していくことを望んでいる。