

Quantum Beam Nanolithography

T. Kozawa, H. Yamamoto, A. Nakano, A. Saeki, K. Okamoto, S. Seki and S. Tagawa
The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan

Abstract

Recently, nanotechnology has attracted much attention. Nanotechnology-related research and development have been intensively carried out in the world. Quantum beam nanolithography such as electron beam lithography is expected as a fabrication tool for nanotechnology-related products. For the development of materials capable of fabricating nanostructures, it is important to understand beam-material interaction. We reported radiation-induced reactions in nanolithography materials studied by ISIR subpicosecond pulse radiolysis system.

量子ビームナノリソグラフィ

1 序

トップダウン型ナノテクノロジーの代表であるリソグラフィ技術は、1957年にフォトリソグラフィが登場して以来、半世紀近くにわたって半導体・通信産業を支え続けてきた。その間、レジストに代表されるプロセス技術は数多くの改良が加えられ、現在では大量生産ラインで100 nm前後のパターン転写が可能になっている。現在、露光源の主力は光であり、位相シフトマスク技術等の超解像技術を用いることにより、描画パターンの制限を受けるが波長の4分の1のサイズの加工が可能になっている。しかし、このような技術を駆使しても、描画対象の微細化に伴い光による加工は限界に近づきつつある。特に、将来のナノテク産業におけるナノ構造物の大量生産という観点からは、フォトリソグラフィは力不足であると考えられており、代わって、電子ビームやEUV、X線といった量子ビームがトップダウン型ナノテクノロジーにおける主要な露光源として期待されている。本研究では、このような量子ビーム用、特に電子ビーム用の極限プロセス技術の確立を最終目標としている。

リソグラフィではパターン転写用にレジストと呼ばれる有機または無機材料が利用され、重要な役割を担っている。レジストには解像度、感度、エッチング耐性、コントラスト、基盤密着性等様々な機能が要求される。ナノテクノロジーという観点から最も注目されるレジストプロセスの解像度は主に露光装置側の問題と材料側の問題に分けることができる。露光装置側の問題では、例えばフォトリソグラフィの限界解像度が光の波長に依存しているのはその典

型であるが、その他にレンズ系の収差、焦点深度、位相シフトマスクの加工精度等様々な条件に依存する。フォトリソグラフィに対して直描型電子ビームリソグラフィにおいても波長、レンズ系の収差等の問題は光と同じであるが、電子ビームは0.1 nm以下に収束させられることが示されており、^[1]一般的にも直径2 nm以下の電子ビームが利用可能になっている。従って、直描型電子線リソグラフィの場合はプロセスの解像度は主に材料側の問題であると考えられることができる。レジストの解像度に関しては、ポジ型レジストを例にとると、まず、如何に微細な領域内で反応を起こせるかという問題と、その後、その微細な領域から分子を溶解させられるかという問題がある。これらの2つの問題は、レジストの組成だけでなくその反応機構に大きく依存する。従って、極限プロセス技術を確立するためには、レジストへの電子ビームのエネルギー付与過程から現像過程までの反応機構を詳細に解明することが必要不可欠になっている。特に、ナノメーターオーダーのパターンの作製過程においては、電子ビームのエネルギー付与過程から、イオン化で生成した電子の熱化過程、熱化直後の電子の反応等のフェムト秒・ピコ秒領域で起こる高速反応がレジスト解像度、感度に密接に関係していることが示されており、^[2-4]この時間領域での反応機構の解明が急務となっている。

パルスラジオリシス法はピコ秒時間領域以内の放射線誘起反応を解明するためにもっとも有効な手段の一つであり、パルス状の放射線を物質に照射し、生成した短寿命中間活性種を過渡吸収分光、過渡発光分光あるいは電気伝導度の変化等を測定することにより分析する手法である。これまでの開発でフェムト秒チタンサファイヤレーザーの基本波を分析光

¹ E-mail: kozawa@sanken.osaka-u.ac.jp

に用いたシステムにおいて時間分解能 800 fs を達成した。ナノ材料分野で求められている十分な情報を得るため、我々の研究グループでは、ナノテクノロジー研究のため ISIR サブピコ秒パルスラジオリシスシステムの測定系の拡張と高精度化を行っている。

2 サブピコ秒パルスラジオリシスシステム

サブピコ秒パルスラジオリシスシステム(図1)は、励起源としてのフェムト秒電子線ライナック、分析光源としてのフェムト秒チタンサファイアレーザー、また、両者の時間差を正確に測定するためのフェムト秒ストリークカメラから構成される。フェムト秒電子線は、阪大産研Lバンドライナックからの電子線シングルパルスを磁気パルス圧縮法によって圧縮することにより得ている。^[5]チタンサファイアレーザーとライナックは 27MHz を基準信号とする共通のRFで同期がとられている。^[6]また、両者の時間差を正確に知るために、ポート出口からサンプル直前の薄ミラーまでの空気中で発生するチェレンコフ光を、

分析光からハーフミラーで分岐したレーザーパルスと合流させ、ストリークカメラに入射させることにより両者の時間差を各ショット毎に測定している。^[7]このシステムにより時間ジッターの影響をストリークカメラの時間分解能までに低減することが可能である。フェムト秒電子線、フェムト秒レーザーのパルス幅はそれぞれ最短 125 fs(FWHM)、60 fs(FWHM)であり、ストリークカメラの時間分解能は 185 fs(FWHM)である。

3 実験結果と考察

ナノリソグラフィ用材料にはエッチング耐性の観点から、しばしば芳香族高分子がベース樹脂として用いられる。本研究ではベンゼンを芳香族高分子のモデル化合物として用いた。図2にベンゼン中で測定される中間反応体のピコ秒領域の時間挙動から求めた、イオン化点の周りの電子の空間確率分布を示す。現在主流となっている化学増幅型レジストでは、この電子と酸発生剤が反応することにより、潜像形成が進む。化学増幅型レジストとは露光により発生

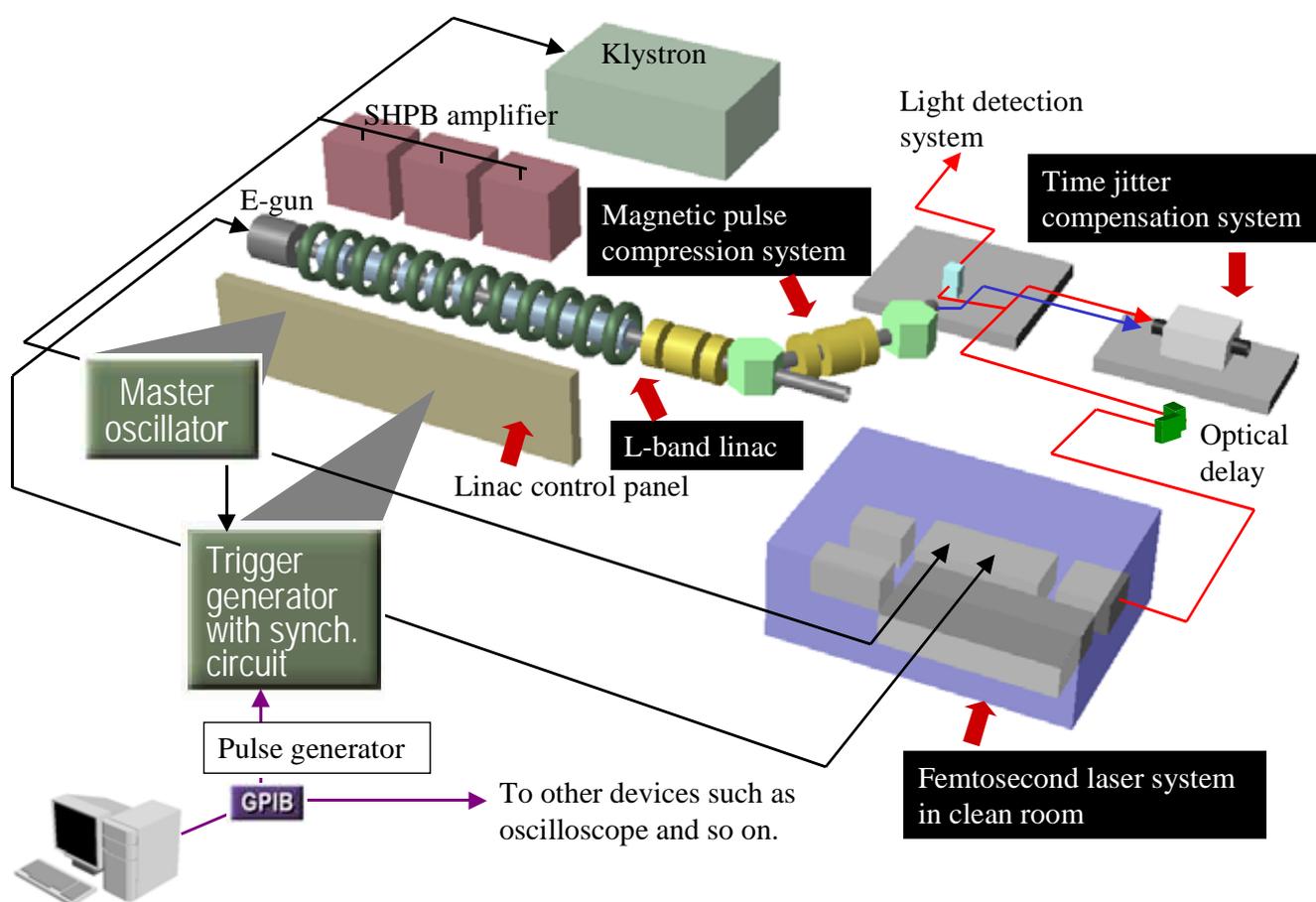


図1 . ISIR サブピコ秒パルスラジオリシスシステム

させた酸を、連鎖反応の触媒に利用することにより高感度化を実現するレジストである。図2からレジスト材料中での電子の確率分布はナノテクノロジーで求められている解像度にちかひことがわかる。今後のナノリソグラフィ用の材料開発は、ナノ空間内の化学反応を解明することが重要となる。

4 まとめ

将来のナノテク産業を支える加工ツールとして X 線・EUV・電子線リソグラフィが期待されているが、加工寸法がナノメートルオーダーに近づくにつれ、放射線がリソグラフィ材料に入射した直後の反応が重要になることが指摘されている。本研究では、モデル溶液を用いナノリソグラフィ材料中でのパターン形成過程を考察した。

参考文献

[1] P. E. Batson, N. Dellby and O. L. Krivanek, Nature, 418 (2002) 617.
[2] T. Kozawa, A. Saeki, Y. Yoshida and S. Tagawa, Jpn. J. Appl. Phys., 41 (2002) 4208.
[3] A. Saeki, T. Kozawa, Y. Yoshida and S. Tagawa, Jpn. J. Appl. Phys., 41 (2002) 4213.

[4] T. Kozawa, A. Saeki, A. Nakano, Y. Yoshida and S. Tagawa, J. Vac. Sci. Technol. B21 (2003) 3149.
[5] T. Kozawa, Y. Mizutani, K. Yokoyama, S. Okuda, Y. Yoshida and S. Tagawa, Nucl. Instrum. Meth. A429 (1999) 471.
[6] Y. Yoshida, Y. Mizutani, T. Kozawa, A. Saeki, S. Seki, S. Tagawa and K. Ushida, Radit. Phys. Chem., 60 (2001) 313.
[7] T. Kozawa, Y. Mizutani, M. Miki, Y. Yamamoto, S. Suemine, Y. Yoshida and S. Tagawa, Nucl. Instrum. Meth. A440 (2000) 251.

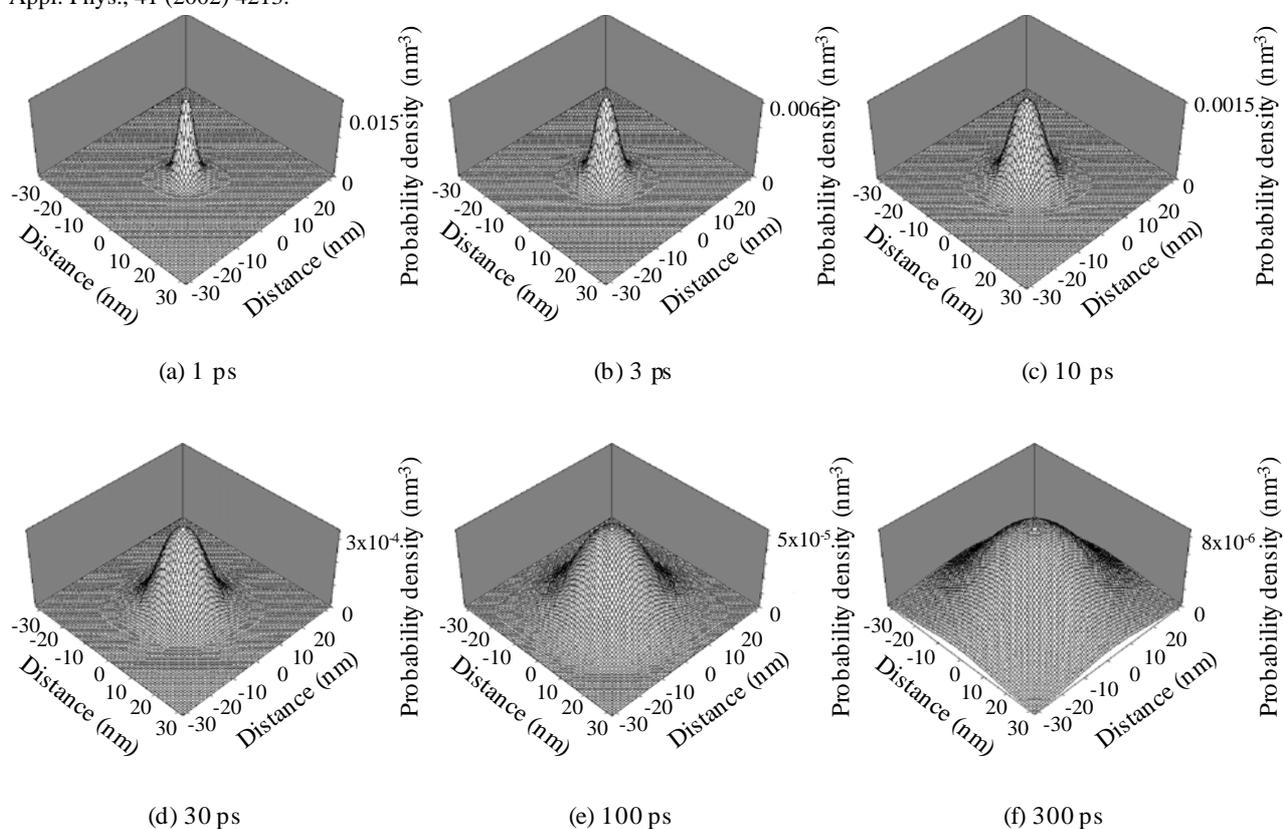


図2 . ベンゼン中での電子の空間確率分布の時間変化