

## サブピコ秒パルスラジオリシスによる X線・電子線ナノリソグラフィ用材料の研究

古澤孝弘<sup>1)</sup>、佐伯昭紀、岡本一将、関修平、田川精一  
大阪大学産業科学研究所  
〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1

### 概要

現在、ナノテクノロジーが注目を集め世界中で研究・開発が進められている。電子線リソグラフィのような放射線を利用した微細加工技術は将来のナノテク産業を支える重要な加工技術であるが、ナノメートルサイズの加工が可能な材料を開発するためには、放射線と材料の相互作用の理解が必要不可欠である。現在、大阪大学産業科学研究所ではナノテクノロジー研究のために 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が行われている。

### 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、<sup>[1]</sup>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。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、ナノメートル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、<sup>[2-4]</sup>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

<sup>1</sup> 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 を達成したが、ナノ材料分野で求められている十分な情報を得るためには測定システムが不十分であった。現在、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。<sup>[5]</sup>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。<sup>[6]</sup>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气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。<sup>[7]</sup>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 測定系の拡張と高精度化

(i) パルス圧縮部のビームモニター系の拡張

通常、測定は 1 タイムプロファイルあたり 1 時間から 2 時間を要し、1 マシンタイムあたり数日かけて数十のデータを収集する。この間ビームコンディションのドリフトの影響は避けられず、ビームの再調整及びデータ補正で対応してきたが、より正確な議論をおこなうためには、さらに正確なビームコントロールが必要である。そのため、パルス圧縮部に

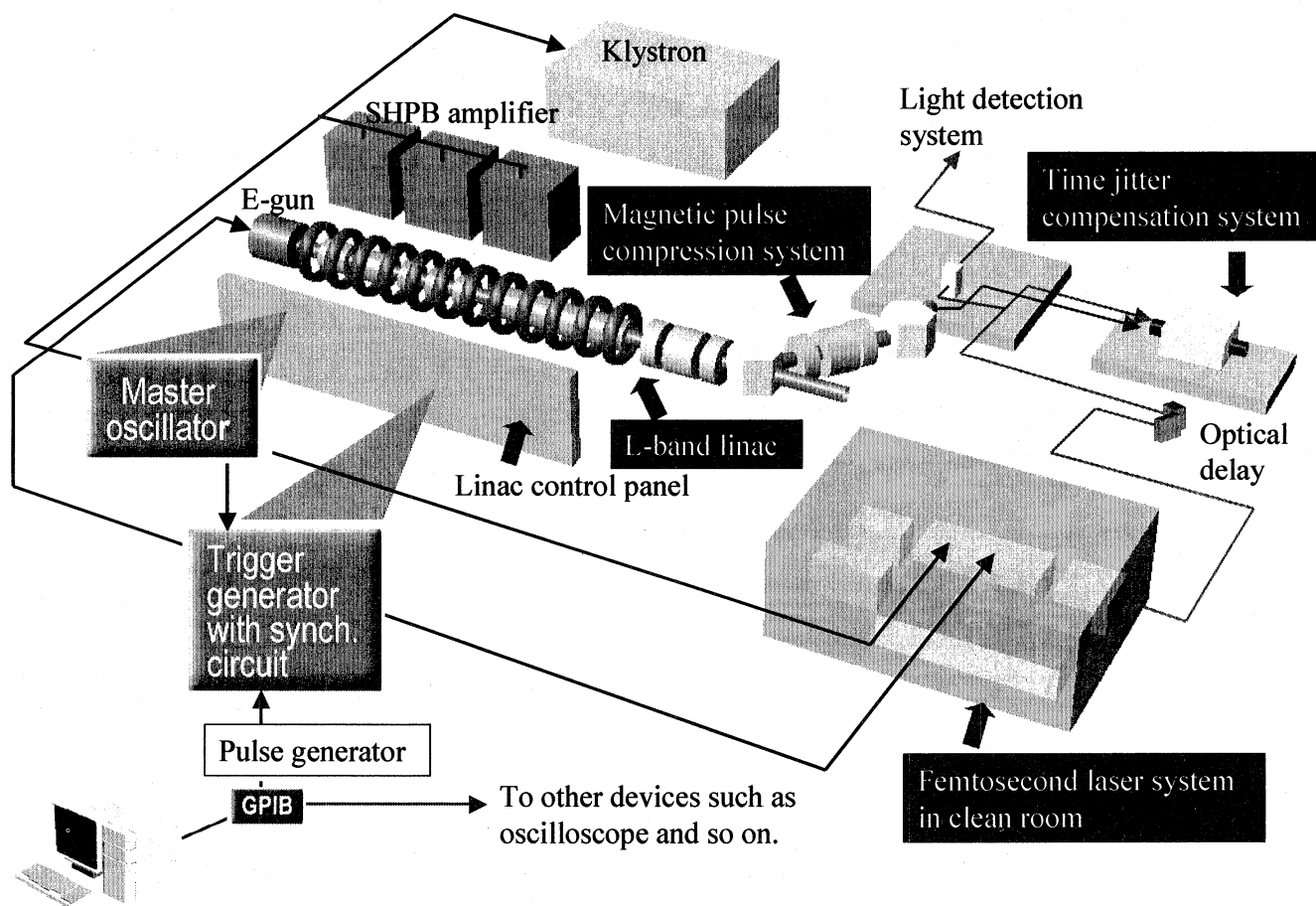


図1. ISIR サブピコ秒パルスラジオリシスシステム

2 個のポジションモニターと 1 個の電流モニターの追加を検討し、圧縮器の再製作を行った。

(ii) 新規レーザーの導入

オプティカル・パラメトリック・アンプシステムを導入することにより 300 nm から 3  $\mu\text{m}$  の波長のフェムト秒レーザーパルス进行分析光パルスとして利用可能にする予定である。

(iii) 新規光学系の設計

従来の光学系では新規レーザーの広い波長帯域に対応できないことと、ジッター補正システムでは補正を行うため、波長 790 nm の分析光をハーフミラーで分けてフェムト秒ストリークカメラに入射していたが、ストリークカメラが新規レーザーの広い波長帯域に対応できないため、新規光学系の設計を行った。また、レーザー強度の安定性を向上させるため全体的なブラッシュアップを行った。さらに、旧システムでは測定時間レンジは最大 3 ns であったが 10 ns まで測定が可能になるように改良を行った。

(iv) 新規フェムト秒ストリークカメラの導入

従来の使用で感度が著しく低下していたフェムト秒ストリークカメラを交換した。

(v) 新規トリガー系の導入

新規レーザーシステムを加速器に同期するため、加速器トリガーシステムの改良を行い、27MHz 及び 108 MHz と同期を取った 960 Hz トリガーをレーザーに供給することを可能にした。

(vi) 新規測定制御プログラムの製作

(i) から (v) までの改良に対応するためには、測定・制御プログラムの全面改訂が必要である。また、

測定時間の短縮化を図るため、新規ソフトウェアを製作中である。

## 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・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。現在、阪大 Lバンドライナックの全面改修が行われ、性能アップが計られている。ここで報告した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は、Lバンドライナックの性能アップと合わせて、ナノテクノロジー研究に大きく貢献することが期待されている。

## 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) 4208-4212.
- [3] A. Saeki, T. Kozawa, Y. Yoshida and S. Tagawa, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 41 (2002) 4213-4216.
- [4] T. Kozawa, A. Saeki, A. Nakano, Y. Yoshida and S. Tagawa, submitted to *J. Vac. Sci. Technol.*
- [5] T. Kozawa, Y. Mizutani, K. Yokoyama, S. Okuda, Y. Yoshida and S. Tagawa, *Nucl. Instrum. Meth. A*429 (1999) 471.
- [6] Y. Yoshida, Y. Mizutani, T. Kozawa, A. Saeki, S. Seki, S. Tagawa and K. Ushida, *Radit. Phys. Chem.*, 60 (2001) 313-318.
- [7] T. Kozawa, Y. Mizutani, M. Miki, Y. Yamamoto, S. Suemine, Y. Yoshida and S. Tagawa, *Nucl. Instrum. Meth. A*440 (2000) 251.