

産業科学研究所・量子ビーム科学研究部門・
量子ビーム物質科学研究分野と
産業科学ナノテクノロジーセンター・
ナノ量子ビーム研究部門・
ナノ量子ビームプロセス分野



研究ノート

田川 精一*

Department of Beam Materials Science, Division of Quantum Beam Science & Technology
and
Division of Beam Science for Nanotechnology, Nanoscience and Nanotechnology Center
The Institute of Scientific and Industrial Research

Key Words : Femtosecond Pulse Radiolysis, Radiation Chemistry,
Ion Beam, Lithography, Nanotechnology

1. はじめに

大阪大学産業科学研究所の量子ビーム科学研究部門の量子ビーム物質科学研究分野と平成14年4月より発足した産業科学研究所附属産業科学ナノテクノロジーセンターのナノ量子ビーム研究部門を紹介する。量子ビーム物質科学研究分野では世界最高の時間分解能を持つフェムト秒パルスラジオリシスシステムの製作と放射線化学の初期過程の研究, 単一イオンによるナノワイヤー形成など種々のビームを用いた照射効果における線質効果の研究, ナノリソグラフィなどの量子ビーム工学, σ 共役系高分子を用いた分子細線などの分子工学の研究, その他, DNAなどの生体物質への放射線照射効果の初期過程の解明, 放射線による有害物質の除去などの研究を行っている。ナノ量子ビーム研究部門では量子ビーム科学の基礎研究に基づいて, 電子線やイオンなどのビームを用いたナノ加工の極限を追及し, 原子・分子組み上げなどのボトムアップ的な手法とも融合

して, ビームを用いた新しいナノテクノロジーの分野を開拓する。

2. 量子ビーム物質科学研究分野の研究の概要

(1) フェムト秒パルスラジオリシスシステムの製作と放射線化学の初期過程の研究

世界で唯一サブピコ秒時間領域まで測定可能なパルスラジオリシス装置などの装置や測定法の開発を行い, 物質や生体への放射線効果を考える上で, 最も重要な初期過程の研究を行っている。

パルスラジオリシスは, 放射線と物質の相互作用のダイナミクスを解明できる最も強力な研究手段として放射線化学のみでなく, 放射線生物や放射線物理の研究の発展に非常に大きな貢献し, さらにはその結果を放射線の関与する理学, 工学, 医学等の広い分野に役立ててきた。

パルスラジオリシスの時間分解能は, 1970年頃にピコ秒の時代を迎えた。その後, 多くの改良が為されたが, 時間分解能に関しては, チャンピオンデータとしては10ピコ秒, 実用的には50ピコ秒程度で30年近く停止していた。最近, この時間分解能が久しぶりに一桁向上した。図1にフェムト秒パルスラジオリシスのシステムを示す。

フェムト秒電子線パルスラジオリシスを成功に導いた4つの重要なポイントを以下に示す。

- 1) フェムト秒単一バンチ電子線パルスの発生
- 2) フェムト秒レーザーと電子ライナックの同期運転
- 3) 時間ジッターを直接検出するジッター補正シス

* Seiichi TAGAWA

1945年4月生
1973年 東京大学工学系研究科博士課程中退

現在, 大阪大学産業科学研究所教授
日本放射線化学会会長
日本学術会議: 18期原子力基盤研究専門委員会委員長
専門分野: 放射線化学, 放射線利用,
ビーム工学, 分子工学,
ナノテクノロジー



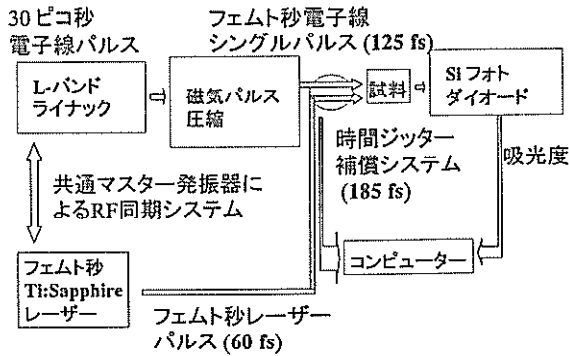


図1 フェムト秒電子線・レーザー同期フェムト秒パルスラジオリシスシステム

テムの開発

- 4) 参照光と測定光との相対安定性の飛躍的向上阪大産研で初めてサブピコ秒の測定に成功し、現在でもサブピコ秒パルスラジオリシスは阪大のみで稼働している。しかし、最も重要なことはピコ秒パルスラジオリシスの利用範囲を飛躍的に向上させた点である。図2を参照しながら重要な点を紹介する。
- 世界で唯一サブピコ秒の放射線化学反応を測定できるパルスラジオリシスの装置である。
 - 図2に示すように実用的に2ピコ秒の時間分解能で、従来の50ピコ秒のデータよりはるかに信号・ノイズ比の大きいデータが測定できる。
 - 従来のピコ秒パルスラジオリシスのデータは測定し易い水和電子にほとんど限定されていた。図2に示すように強い吸収を持つピレンなどの大きな芳香族分子のイオンでなく飽和炭化水素である液体ドデカンのカチオンラジカルの吸収

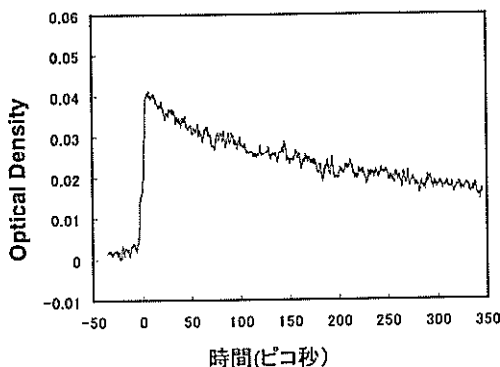


図2 純液体n-ドデカンにフェムト秒電子パルスを照射した時に生成したカチオンラジカルの時間挙動(790nm)

を測定できるようになった。

- (2) 単一イオンによるナノワイヤー形成など種々のビームを用いた照射効果における線質効果の研究

電子線では電子の飛跡に沿った単位長さ当たりに付与するエネルギー量であるLET(もしくは阻止能)はイオンなどに比較すると何桁も小さくなる。同じイオンでもイオンの種類やエネルギーでLETは非常に異なっている。LETが異なると反応も異なってくる。このLET効果も含め、放射線の種類が異なると放射線の効果がどのように違うのかという基礎研究に基づいて、図3に示すような一つのイオンビームの飛跡に沿ってナノワイヤーを形成することを初めて成功し、AFMなどで測定した。

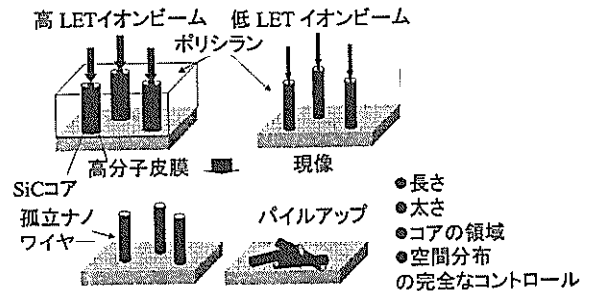


図3 一つのイオンビームによるナノワイヤーの形成イオンビームによる極限加工

- (3) ナノリソグラフィーなどの量子ビーム工学

超先端電子技術開発機構(ASET)や半導体先端テクノロジーズ(Selete)・あすかプロジェクトなどとも協力して進めてきた世代リソグラフィーの基盤研究、特に化学増幅型レジスト放射線と光反応機構の違い、分解生成物・アウトガスによる装置や環境汚染・プロセスの性能劣化、放射線劣化とドライエッチングの違いなどの研究とイオンビームを用いた物質の改質などの研究を行っている。

- (4) σ 共役系高分子を用いた分子細線などの分子工学

一個一個の高分子の分子内の電荷移動度や高分子間のナノ空隙を測定できる新しい研究方法の開発と高分子薄膜全体の光伝導度、移動度、光学吸収、発光測定などを組合せ、高分子薄膜の機能性の総合的な評価手法を確立し、共役系高分子、特に、 σ 共役系高分子であるポリシランなどの機能向上をめざした合成と分子デバイスへの展開をめざしている。

(5) ビームによるナノテクノロジー

ナノ空間での反応過程を測定・解析できる装置の開発し、放射線のエネルギーの付与される位置と実際に反応が起こる位置とのずれを測定・制御することにより電子線やX線による量産性も期待されるナノテクノロジーの限界を探る研究、単一のイオンが形成するナノワイヤーというイオンビームによる極限加工の研究をベースに量産性はあまり期待できないが非常に手軽なナノテクノロジーの加工手段である吸束イオンビームなどのイオンビームを用いたナノテクノロジーの新しい応用分野の研究を行っている。また、電子の反物質である陽電子を加速器で生成し、エネルギーの揃った陽電子ビームと測定系を製作し、超薄膜の表面・界面・内部のナノ空隙の研究も行っている。この分野の研究は今後、ナノ量子ビーム研究部門が主体となって、推進してゆくことになる。

3. ナノ量子ビーム研究部門の研究の概要

極微細な世界の加工や観察、制御などに関する科学技術である「ナノテクノロジー」は、2000年初頭に当時のクリントン大統領が発表した「ナノテクノロジー戦略」をきっかけに世の中の脚光を浴び、産業競争力の強化の切り札として世界中で激しい競争が起こっている。日本は以前から「ナノテク」と呼ばれる技術分野で、個々の研究者は成果をあげてきたが、政府が新科学技術基本計画の中で4つの重要分野の一つに位置付け、国の戦略として推進してゆくことになった点が重要である。

産業科学研究所ではトップダウンという大きなもの削ってゆく極限ナノ加工とボトムアップという原子・分子の組み上げというナノテクノロジーの2つの基盤技術を融合することにより、ナノテクノロジーの高度化を計り、生体情報材料などの新しい材料、デバイス、システム系を構築し、新しい学問や産業の創造という壮大な夢を追求するために産業科学ナノテクノロジーセンターを平成14年4月に発足させた。

産業科学ナノテクノロジーセンターは3部門で構

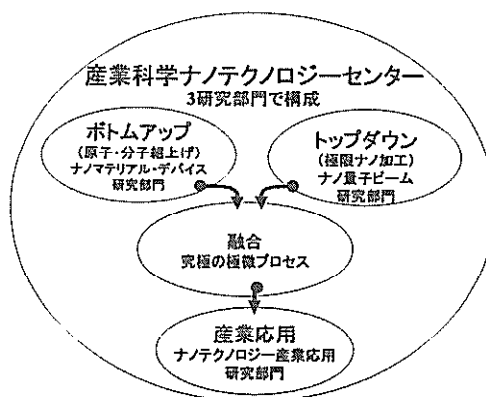


図4 産業科学ナノテクノロジーセンター 3研究部門の関係

成されているが、ナノ量子ビーム研究部門は主としてトップダウンを担う。トップダウンではビームによる超微細加工技術が大きな役割を果たしてきたが、今後、ますます高度なビーム利用技術が要求されることになると思われる。ナノ量子ビーム研究部門では電子線ビームのエネルギー付与位置と反応位置との数ナノメートルのずれをどのように制御するかとか、一個のイオンによるナノワイヤーの形成などのイオンビーム加工極限を追求するような産研が世界をリードしている基礎・基盤研究に基づいて、今後、ナノテクノロジーのトップダウン技術で、重要な役割が期待される電子線やイオンなどのビームを用いたナノ加工の極限を迫る。量産性のある次世代ソリグラフィの基礎・基盤科学技術と量産性はないが将来のナノテクノロジーの展開に重要なトップダウン技術を追求する。また、当然、原子・分子組み上げなどのボトムアップ的な手法とも融合して、新しいナノテクノロジーの分野の開拓を目指す。

この産業科学ナノテクノロジーセンター、特にナノ量子ビーム研究部門は産研や学内だけでなく、産業界や他大学等の外部との連携も非常に重視しており、実質的な協力が行えるように努力して行きたいと思っている。

