

第 53 回応用物理学関係連合講演会 (2006 年) シンポジウム報告

励起ナノプロセッシングの展望

和歌山大シス工 篠塚雄三
 筑波大数理物質 村上浩一
 産総研 金山敏彦

近年、レーザー光や電子線、イオンビームなどを制御しながら物質に照射することで効率的にナノスケール加工や機能性材料作製を目指す様々な励起プロセスが提案・開発されている。残念ながらそれぞれの物理機構が逐一明らかになっているわけではなく、個別に現象論的パラメータ制御をもとに手探りのように開発が進んできている。この現状を打破するために本シンポジウムが企画された。まずイントロダクトリーでは篠塚雄三（和歌山大）から、各励起プロセスにおける電子励起状態の関与の仕方と熱的プロセスとの違い、および電子的素励起が原子駆動力を発生させる仕組みについて一般的な解説があり、協調励起・シリーズ励起など新しい組み合わせの妙味についての提案があった。

前半は励起ナノプロセスの物理に焦点が当てられた。光照射は照射面積を除き最も制御性の良い励起法である。照射強度の強弱と励起波長の長短の観点から 3 件の講演があった。まず谷村克己（阪大産研）から、レーザー光で半導体表面を弱く価電子励起（ $\sim 1\text{eV}$ ）した場合、Si(111)7x7 構造をはじめ複数の Si 表面構造から Si 中性原子が真空中に放出される現象には、サイト依存性が

あること、フルエンスの閾値が存在しフルエンスと共に非線形的に放出量が増加すること、放出量の励起スペクトルが Si 表面 2 次元バンド構造に依存することが報告された。GaAs, InP などの化合物半導体表面でも同じ現象が見られ、表面における 2 ホール局在が脱離機構の要であることが結論された。引き続き増原宏（阪大工）から、高分子、有機固体、溶液中有機分子等をレーザー光で強励起する際に見出された興味ある結果が多数報告された。例えば、顕微鏡下のレーザートラッピングによる Au 微粒子の規則的配列、フタロシアニンなどの有機結晶における femto 秒レーザーアブレーションは金属や半導体で見られるような通常の熱的な過程でないこと、液中レーザーアブレーションではナノコロイドが形成されること、などが紹介された。間瀬一彦（物構研）は、放射光 (SR) を用いて構成原子の内殻電子を励起 ($>100\text{eV}$) することでイオン脱離が誘起される現象について、長年開発してきたコインシデンス分光法（光電子・オージェ電子・脱離イオン種間の 3 組の相関が判る）を用いた独自の研究結果を報告した。一般に SR 励起等で生じた内殻ホールは 10fs 以下の寿命でオージェ崩壊し、 n

段のオージェ過程を介して価電子帯に最大 $n+1$ 個の局在ホールが過渡的に生じるため結合が不安定となる。ケミカルシフトを利用した共鳴内殻励起により、複雑な分子の任意の場所の原子結合を切断できる分子メスになり得る。前半の最後は、前田康二（東大工）から比較的低速な電子ビーム励起に関する総合報告がなされた。低エネルギー（ $\sim 10\text{eV}$ ）電子ビーム照射でも Si 欠陥のアニールが起こること、Si 表面上に吸着している Cl 単一層に STM 探針から電子やホールを注入することで Cl が動くこと、また炭素系物質（C60, グラファイト, ta-C など）での電子ビーム照射による $\text{sp}^2\text{-sp}^3$ 間の構造変化の観測例が多数紹介された。一般に励起の局所性とプロセスの効率性は相反するが、それを克服する一括ナノ加工方法の提案があった。

後半の4つの講演では、それぞれの励起法を用いて特徴的なナノプロセスを実現できることが紹介された。高速電子ビームを固体に照射すると、電子系の励起に加えて原子のはじき出しが起きる。竹田精治（阪大理）は、電子線照射によって、欠陥生成に続いて固体中に多彩な2次過程が生じることや、Si の表面状態を変化させ金属ナノ粒子の形成に利用できることを報告した。

プラズマプロセスは半導体集積回路の微細加工に多用されているが、反応過程は複雑多岐で、経験的な制御に頼っているのが現状である。堀勝（名大工）はプラズマ中のラジカルの光学的計測がエッチングプラズマのモニターに有効であることを報告し、種々の計測に基づいて高精度な制御を行うスマートプラズマプロセスを提案した。表面反応の高い制御性が期待できる手段に、高速分子ビームがある。加圧した He ガスを用いて数 eV に加速した酸素や塩素の分子ビームを使うと、Si や金属表面との反応過程を精密に制御できるユニークな結果を、寺岡有殿（原子力機構）が紹介した。最後に、松井真二（兵庫県立大）が、収束イオンビームが固体表面に吸着したガス分子の分解反応を高効率で局所的に励起できることを利用すると、立体的なナノ構造を一筆書きで形成できることを報告した。この方法で作った微細なツールで植物細胞の内部に操作を加える様子が動画で紹介され、会場の関心を呼んでいた。

以上の9つの講演を通して、本シンポジウムの2つの目標：①素過程への分解による各励起ナノプロセスの機構解明へ、②総合化による新規プロセスの開発へ、に向かって学際的協力研究が動き始めたようだ。