

電子で開く1000兆分の1秒の世界①

極短パルス電子線によるダイナミクス計測

背景

極限ナノファブリケーションを実現するために材料中に量子ビームが誘起する基礎過程の解明を目指している。そのためのツールとして、世界最高時間分解能を有するフェムト秒・アト秒パルスラジオリシスシステムの研究開発を行っている。

技術の概要・特徴

フェムト秒極短パルス電子ビームを時間分解分光法に適用し、量子ビーム誘起反応による過渡種（ホール、電子、ラジカル）のダイナミクスを実測する装置と測定法を開発・運用している。電子ビームによる分析光の発生により、THz光も使えるようになり、測定対象、現象に合わせた測定が可能である。パルス電子線の短パルス化と、時間分解分光法の高時間分解化の実現に注力している。

技術内容

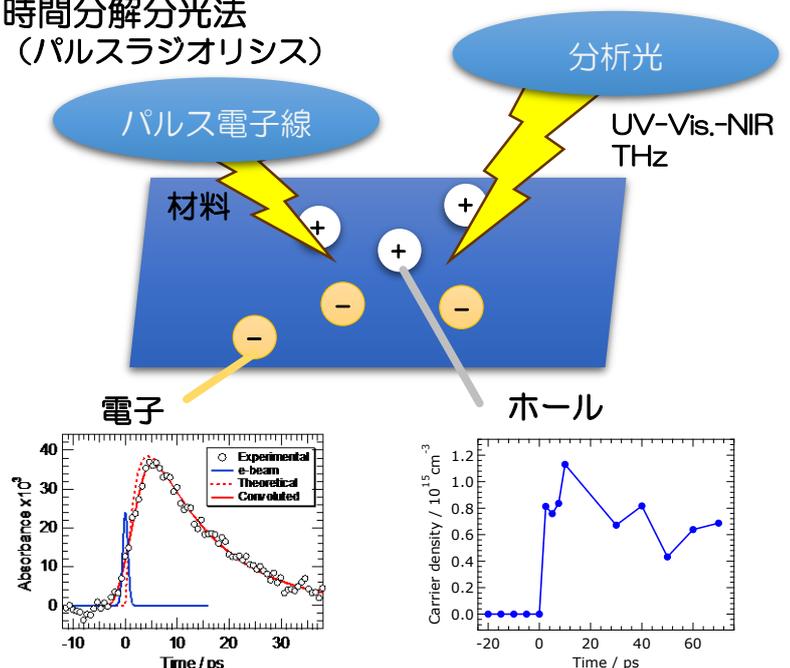
我々は、量子ビームが誘起する超高速反応の基礎過程の解明を目指し、極短パルス電子線によるダイナミクス計測を行っている。フェムト秒・アト秒パルスラジオリシスでは、試料に量子ビーム（電子線）を照射し、分析光（紫外・可視・近赤外・遠赤外）の吸収・透過率の解析により、反応ダイナミクスの計測を行っている。この計測により、電離放射線の利用が検討されている次世代ナノファブリケーション、放射線治療、原子炉水化学等における量子ビーム誘起による超高速反応の知見の提供が可能となる。図にはエタノールやシリコンに電子ビームを照射した直後に起きるピコ秒オーダーの反応の観測例を示す。

社会への影響・期待される効果

放射線場や宇宙空間での材料の劣化や、材料中の電荷キャリアの動き、EUVリソグラフィー等の次世代半導体微細加工技術の基礎過程の解明に役立つ知見を与える。これらの知見の材料へのフィードバックが極限空間での活動を支える材料や、次世代材料の開発の契機となることを期待する。

また、極短パルス電子ビームは、物質を高密度にイオン化・励起できる可能性があり、新たな材料プロセスの可能性を秘めている。

時間分解分光法 (パルスラジオリシス)



エタノール中の溶媒和前電子の生成と減衰の実時間観測例 (観測波長1400 nm)

シリコン中のホールと準自由電子の実時間観測例 (観測周波数 1 ± 0.5 THz)

電子で開く1000兆分の1秒の世界②

超高速電子顕微鏡・電子線回折

背景

新しい物質創製・新物性発現には、実時間（ \sim fs）と実空間（ \sim Å）での原子・分子の動きや構造変化のダイナミクスを直接的に観察し理解することは必要不可欠である。

一方、汎用の電子顕微鏡では高時間分解能がなく、フェムト秒・ピコ秒の早い時間領域での構造変化の観察がまだ不可能である。

技術の概要・特徴

最先端加速器技術を用いて、エネルギーが3MeV、パルス幅が100fsの高輝度電子線パルスが発生し、フェムト秒時間分解能を有する「超高速電子顕微鏡」を世界に先駆けて開発し、原理実証に成功した。

技術内容

我々は、物質科学の研究力を高め、新たな学際領域を切り拓き、革新的製品開発の核となる新知見を創出するために、物理、化学、生物学など幅広い科学分野に利用可能な、時間的にフェムト秒、空間的にオングストロームの分解能を有する「超高速電子顕微鏡」を開発し、実証実験を試みた。

超高速電子顕微鏡では、高周波電子銃技術を用いてエネルギー3MeV、パルス幅100fsの高輝度電子線パルスが発生し、相対論的フェムト秒電子線パルスを用いた電子顕微鏡像の測定に成功した。電子回折の観察では、単一電子線パルスによる測定や、フェムト秒時間分解構造変化の観察に成功した。これにより、今まで測定できなかった不可逆な構造ダイナミクスの解明を可能とした。

社会への影響・期待される効果

相転移等のトリガーに始まる構造変化等の拡大現象や、金属中の転移滑り現象の観測、化学反応における分子構造変化等のダイナミクス解明を目指している。これにより新しい物質相・新物性の探索、化学反応から生成される様々な中間種の発見が期待される。

また、様々なタンパク質の構造決定において、ビームダメージよりも早く回折像を取得し、構造決定する手法の確立を目指している。これにより創薬等への貢献が期待される。

