

<p>&lt; 1 - 2 &gt; 超高密度フォトン反応制御技術の開発  サブテーマ名： 応用のための計測・制御技術の開発  小テーマ名： 時間・空間の極限的計測法の研究 (フェーズ I, II)</p>
<p>サブテーマリーダー 光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究リーダー 青島紳一郎  研究従事者 静岡大学電子工学研究所助教授 坂口浩司  光科学技術研究振興財団 コア研究室 研究員 青島紳一郎</p>
<p>研究の概要、新規性及び目標</p> <p>研究の概要  フェーズ I では、フェムト秒レーザーと微小な空間にアクセスする走査プローブ顕微鏡を融合させた新しい極限時空間光計測技術の開発研究を実施し、フェムト秒光電導性原子間力顕微鏡等を開発し、有機薄膜のナノスケールでのフェムト秒時間分解光電導計測を観測可能にした。  フェーズ II では、“単一分子ワイヤ”を基板上に任意の密度・長さで構築する新しい液相プロセスを提案し、この手法を用いて500分子ほど重合した単一分子ワイヤ(長さ 200 nm)を基板水平方向に形成することで、これを実証した。さらに、フェーズ I で開発した顕微鏡を適用してその場観察をおこない、原子分解能での1本の分子ワイヤの動的過程を明らかにした。  本テーマは、静岡大学電子工学研究所の坂口浩司助教授との共同研究で実施した。</p> <p>研究の独自性・新規性  導電性のある単一分子ワイヤの作製に成功するとともに、その動的挙動を明らかにした。単一分子ワイヤの作製に関する研究成果は、著名な雑誌(Nature Material)に掲載されて大きな注目を集め、新聞やテレビで多く取り上げられた。また、本年度からCRESTさきがけ研究が開始された。このように、独自性と新規性のある研究成果が得られた。</p> <p>研究の目標  フェーズIでは、走査型プローブ顕微鏡と光パルス技術を組み合わせ、原子・分子を極限時空間で検出する新しい計測装置の開発を行う。  フェーズIIでは、材料分野や生物分野への応用を目指す。</p>
<p>研究の進め方及び進捗状況</p> <p>フェーズ I において、平成12・13年度は、&lt; 2 &gt;新規産業開発研究&lt;2-a&gt;先導的探索研究の、小テーマ「超高速走査プローブ計測システムの開発」として、平成14年度は&lt; 1 - 2 &gt;超高密度フォトン反応制御技術の開発&lt;1-2- a&gt;計測・制御技術の開発で、小テーマ「時間・空間の極限的計測法の研究」の共同研究を実施した。  フェムト秒レーザーと微小な空間にアクセスする走査プローブ顕微鏡を融合させた新しい極限時空間光計測技術の開発研究を実施し、フェムト秒光電導性原子間力顕微鏡等を開発し、有機薄膜のナノスケールでのフェムト秒時間分解光電導計測を観測可能にした。  フェーズ II において、平成15・16年度、&lt;1-2&gt;超高密度フォトン反応制御技術の開発～応用のための計測・制御技術の開発で、小テーマ「時間・空間の極限的計測法の研究」として共同研究を実施した。  “単一分子ワイヤ”を基板上に任意の密度・長さで構築する新しい液相プロセスを提案し、500分子ほど重合した単一分子ワイヤ(長さ 200 nm)を基板水平方向に形成することで、これを実証した。さらに、フェーズ I で開発した顕微鏡を適用してその場観察をおこない、原子分解能での1本の分子ワイヤの動的過程を明らかにした。  以上より、目標以上の成果を上げて、平成16年度に共同研究を完了した。本テーマの目標達成度は110%である。</p>
<p>主な成果</p> <p>フェムト秒光電導性原子間力顕微鏡等を開発し、有機薄膜のナノスケールでのフェムト秒時間分解光電導計測を観測可能にした。また、“単一分子ワイヤ”を基板上に任意の密度・長さで構築する新しい液相プロセスを提案し、この手法を用いて500分子ほど重合した単一分子ワイヤ(長さ 200 nm)を基板水平方向に形成することで、これを実証した。さらに、開発した顕微鏡を適用してその場観察をおこない、原子分解能での1本の分子ワイヤの動的過程を明らかにし貴重な知見を得た。加えて、光励起により電子を単一分子長軸に沿って流す「単一分子フォトダイオード」の実現に必要な単一分子ワイヤヘテロ構造の形成にも成功した。  フェムト秒光電導性原子間力顕微鏡を開発し、有機薄膜のナノスケールでのフェムト秒時間分解光電導計測を観測可能にした。  レーザー励起による単一分子の光電導を計測する装置としてレーザー励起STMを開発した。  当初の目的であった“単一分子ワイヤ”を基板上に任意の密度・長さで構築する新しい液</p>

相プロセスを提案し、成功することができた。

長さ 200 nmもある 1 本の単一分子ワイヤを金属表面に形成することに成功した。重合後生成する共役系高分子が溶媒に可溶化する延長分子を用い、且つ溶液に極少量のハロゲン元素やイオンを電解質内に加えた場合には、延長分子が最長で500分子ほど重合した単一分子ワイヤ（長さ 200 nm）を基板水平方向に形成できた。

光励起走査プローブ顕微鏡を用いて、金属表面に形成させた単一分子ワイヤの電子物性のその場観察をおこないながら、レーザーの強電界を利用して配向を制御する技術を開発し、単一分子デバイス作製プロセスへの応用と単一分子フォトダイオードなど 1 個の分子を用いる光デバイス実現への基礎研究をおこなった。

ヨウ素で表面修飾した金（111）単結晶基板を電極として用い、モノマー 1（低バンドギャップ分子ワイヤ原料）を含んだ電解質溶液中で電圧パルス（1.1 V）を印加することにより基板上に低バンドギャップ分子ワイヤを構築した。

この単一分子ワイヤの配向を“暗状態”で走査トンネル顕微鏡により観察した。その結果、1 本の分子ワイヤの中で“点滅”する分子ユニットを初めて明らかにすることができた。この点滅現象は、分子ワイヤ中を伝播するソリトン波（正孔）であることが示唆される。明点が単一モノマーユニットにトラップされた正孔であり、暗点はトラップを抜け出してワイヤ鎖中を伝播している正孔であると結論できる。他にも 1 本の分子ワイヤが室温の熱エネルギーにより“ジャンプ”して 2 層構造を取る動的過程などが観測された。原子分解能での 1 本の分子ワイヤの動的過程を明らかにした。

独立して成長した低バンドギャップワイヤ、高バンドギャップワイヤとは別に、二つの異なるワイヤが接合した単一分子ヘテロ構造が観測された。この構造は未だ世界で報告されておらず、単一分子ワイヤヘテロ構造を世界で初めて実現できた。

以上の成果によって、単一分子レベルで分子の向きを変えたり会合させたりする“光単一分子マニピュレーション”、“単一分子の空間的操作とその場観察”に必要となる基盤技術の開発と新しい知見を見出すことができ、時間・空間の極限的計測法の研究として、当初の目標を満足する十分な研究成果を得て共同研究を完了した。

特許件数：3

論文数：16

口頭発表件数：8

#### 研究成果に関する評価

##### 1 国内外における水準との対比

導電性のある単一分子ワイヤの作製に成功するとともに、その動的挙動を明らかにした。単一分子ワイヤの作製に関する研究成果は、著名な雑誌（Nature Material）に掲載されて大きな注目を集め、新聞やテレビで多く取り上げられた。また、本年度からCRESTさきがけ研究が開始された。このように、高い水準の研究成果が得られた。

##### 2 実用化に向けた波及効果

多くの報道にも取り上げられたように、導電性のある単一分子ワイヤは、電子機器の小型化等に有効利用できること期待されており、その波及効果は非常に大きい。

#### 残された課題と対応方針について

静岡大学電子工学研究所において、CRESTさきがけ研究で研究を継続し、基礎データを蓄積するとともに産業適用の可能性を検討する。

	J S T 負担分 (千円)							地域負担分 (千円)							合計	
	H 12	H 13	H 14	H 15	H 16	H 17	小計	H 12	H 13	H 14	H 15	H 16	H 17	小計		
人件費	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
設備費	0	0	547	0	0	0	547	0	0	0	0	0	0	0	0	547
その他研究費 (消耗品費、材料費等)	0	0	1,869	1,508	1,970	0	5,347	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0	5,000		10,347
旅費	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
その他	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
小計	0	0	2,416	1,508	1,970	0	5,894	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0	5,000		10,894

#### 代表的な設備名と仕様 [ 既存 (事業開始前) の設備含む ]

J S T 負担による設備：高密度フォトン発生計測装置

地域負担による設備：走査型プローブ顕微鏡