

光励起現象に対する電子線ホログラフィーシステムの確立と 材料科学への展開

Development of electron holography system for
photoexcitation phenomena and its application to
materials science

進藤 大輔 (SHINDO DAISUKE)

東北大学・多元物質科学研究所・教授



研究の概要

代表者らの研究グループが独自に開発した2探針ピエゾ駆動試料ホルダーを改良し、新たに可動アームの一方に、光ファイバーを介したレーザー照射機能を付与し、新規ホルダーを完成した。この新規ホルダーを活用した電子線ホログラフィー技術により、有機感光体中に摩擦帯電によって生じた電荷が、レーザー照射によるホールと電子の結合の結果消失する様子を、その電場の変化として定量的に追跡することに成功し、光励起現象の定量的電場解析の端緒を開いている。

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎／応用物理学一般

キーワード：物理計測・制御

1. 研究開始当初の背景

申請者らの研究グループでは、これまで電子線ホログラフィーによる電場と磁場の可視化技法を各種先端材料の評価に応用するとともに、独自に開発した2探針ピエゾ駆動試料ホルダーを用いて、電磁場の制御と導電性の評価も実施してきた。

一方、光を利用した材料機能制御に関する研究が最近盛んになっており、対象とするナノ物質群（微粒子、多層膜、液晶、巨大分子系など）の光励起状態と材料機能の関わりを解明するためには、光照射に伴う表面キャリア分布の変化等を微視的に明らかにする事が必須であり、新たな手法の確立が渴望されていた。

2. 研究の目的

本研究では、光励起させたナノ構造体の電位・キャリア分布をナノスケールの分解能で解明できる新しい電子線ホログラフィーシステムの構築を目指す。具体的には(1)TEM内で光励起実験を行うための「光導入ピエゾ駆

動ホルダーシステム」の開発、(2)ナノ領域での高精度電磁場解析を目指したホログラフィー技術の高度化、(3)有機感光体へのレーザー照射と表面キャリア分布の変化に対する応用展開などを研究項目として掲げている。

3. 研究の方法

光励起現象に伴う電場の定量解析には、これまで蓄積してきている高精度電子線ホログラフィー技術を活用する。さらに、2探針ピエゾ駆動ホルダーの可動アームを電子線シールド機能として有効に活用するとともに、もう一方のアームにレーザー照射機能を付与し、光励起現象への応用を図る。

4. これまでの成果

(1) 光導入ピエゾ駆動ホルダーの開発

代表者らはこれまでナノ領域での電気抵抗測定を目的として、TEM内で二本のアームを独立駆動できる特殊な試料ホルダーを開発してきた。本研究では、この特殊ホルダーの可動アームの一つに、レーザービームを誘導する

光ファイバー細線を導入した。試料に対するレーザー照射位置は、アームの駆動機構で精密に制御できるように工夫されている。なお、同ホルダーにはもう一本、ピエゾ駆動可能なアームが搭載されている。このアームは、電子線による試料の帯電等を阻止するためのシールドとして、試料の真上に置き、電子線を遮る用途に用いている。また、遮蔽シールドの代わりに金属探針を取り付ければ、光照射に伴う試料の伝導性の変化を計測することもできる。

(2) ナノ領域での高精度電磁場解析を目指したホログラフィー技術の高度化

絶縁体試料表面でのキャリア誘発やレーザー照射によるキャリア分布の操作を、電子顕微鏡内の限られた空間内で一貫して行うために、イオンビームを用いた微細加工技術を駆使して、微細なマニピュレータや遮蔽板を作成した。これらを用いて、光励起現象に関わる一連の過程を電子顕微鏡でその場観察できる技術を整備できた。

また、有限要素法を取り入れたシミュレーション技術を駆使して、任意の形状・任意の誘電率の試料に対する電場分布の計算を可能にした。さらに、電子線ホログラフィーの実験で以前から問題となっていた参照波の位相変調効果を、このシミュレーション技術を応用して精密に評価することに成功した。

(3) 有機感光体へのレーザー照射と表面キャリア分布の変化に対する応用展開

上記の技術を光励起現象の評価に応用した。具体的には、コピー機など電子写真技術に広範に利用されている誘起感光体を取り上げ、摩擦帯電によって生じた電荷が、レーザー照射によりホールと電子の結合により消失し、その電場が次第に小さくなってゆく様子を電位の変化として定量的に追跡することにはじめて成功している。本研究成果は

電子顕微鏡の専門誌 (J. Electron Microscopy) に発表されるとともに、新聞発表 (日経プレスリリース) も行っている。また、電子線ホログラフィーを用いた一連の電場解析の成果は、2010年6月に名古屋で行われる、顕微鏡とシミュレーションに関する国際会議 (AMTC2) でも招待講演されるとともに、9月にブラジルで開催される4年に一度の顕微鏡の国際会議でも最新の進展の様子が報告される予定である。

5. 今後の計画

3年間の研究で、電子顕微鏡試料ホルダーへのレーザー照射機能の付与を実現し、これを用いて有機感光体の光励起現象への初期的な応用研究にも成功している。今後は、光励起電場解析法のさらなる高精度化を図りつつ、太陽光発電材料など他の重要物質の評価も行う予定である。

6. これまでの発表論文等

—論文—

(1) D. Shindo, Y. Murakami 他

“Development of a multifunctional TEM specimen holder equipped with a piezodriving probe and a laser irradiation port”, *J. Electron Microsc.*, **58** (2009) 245-249.

(2) D. Shindo 他 “Determination of orbital location of electron-induced secondary electrons by electric field visualization” *J. Phys. Soc. Jpn.*, **78**, (2009) 104802(1)-104802(8).

(3) Y. Murakami, D. Shindo 他

“Ferromagnetic domain nucleation and growth in colossal magnetoresistive manganite” *Nature Nanotechnology*, **5** (2010) 37-41.

(4) N. Kawamoto, Y. Murakami, D. Shindo “Local Conductivity and Electric Field Analysis of Ag-based Conductive Adhesive by TEM” *J. Appl. Phys.*, **107** (2010) 044309(1)-044309(6).

—受賞—

1. Z. Akase, D. Shindo 他

2009 International Metallographic Contest Third Place, International Metallographic Society, (2009.8.12)