

論文内容の要旨

博士論文題目 低温散乱型近接場光学顕微鏡の開発とナノ空間分解光学測定
氏 名 谷口 克哉

近年、ナノメートルサイズの物質が持つ新機能性への期待から、種々のナノ構造物質が作製されている。ナノ構造物質の物性を評価する手法としてナノ空間分解能を有する観察技術の開発が、ますます重要になってきている。中でも、近接場光学顕微鏡 (SNOM) は、光の回折限界を超えたナノ空間分解能を有する光学像を観察できることから注目を集めている。本論文では、低温及び室温において高空間分解光学像の観測が可能な SNOM を開発し、それを用いて種々のナノ構造物質の光学像および光学特性の研究を行った。

本論文は 6 章からなっており、各章の内容は以下の通りである。

第 1 章では、研究背景と研究の目的について述べた。

第 2 章では、近接場光の具体的な発生方法とその性質について述べ、散乱型 SNOM の特徴を開口型 SNOM と比較することでまとめた。また、散乱型 SNOM の結像原理についても述べた。

第 3 章では、低温散乱型 SNOM の開発の詳細を述べた。低温原子間力顕微鏡 (AFM) を基本にして散乱型 SNOM 機構を付加させた。照射光学系並びに検出光学系の最適化、AFM-SNOM 測定の同期及び時定数のマッチングなど数々の工夫を施すことにより、微弱な近接場光の検出が可能となった。低温及び室温において、AFM 像と SNOM 像を同時にかつ再現性良く観察することに成功した。

第 4 章では、開発した低温散乱型 SNOM の性能、特性評価を行った。光信号強度のプロローブ-試料間距離依存性は、近接場光に特徴的な指数関数的減衰を示すことを明らかにした。ナノ構造試料の測定を行い、回折限界を超えた空間分解能の SNOM 像観察に成功した。空間分解能は 15 nm 程度と評価され、高い空間分解能が得られることを示した。また、SNOM 像のコントラストの定量的な解釈には、試料表面の誘電率分布のみならず、形状やサイズといった表面構造も考慮する必要があることを示した。

第 5 章では、強誘電体薄膜試料の低温及び室温における SNOM 測定結果について議論した。低温 SNOM 像においてのみ、強誘電相の発現に起因すると考えられる局所的な屈折率変化を観察し、開発した低温散乱型 SNOM が相転移の研究に有用であることを示した。

第 6 章では、本研究で得られた成果についてまとめた。

以上、本研究では、低温で測定可能な散乱型 SNOM を開発し、ナノ構造物質の光学像を室温及び低温かつ高空間分解能で観察することに成功した。

(論文審査結果の要旨)

近年、ナノメートルサイズの構造や物質の持つ新しい物性や機能への期待から、種々のナノ構造物質が作製されている。ナノ構造物質の物性や構造の評価には、ナノ空間分解能を有する観察技術の開発が非常に重要である。中でも、近接場光学顕微鏡 (SNOM) は、光の回折限界を超えた空間分解能の光学像を観察することが可能であり、新しいナノ構造物質の光学物性測定手法として注目を集めている。本論文は、低温で観察可能な高空間分解能散乱型 SNOM を開発し、ナノ構造物質の光学像の測定に成功した。その成果を以下に示す。

1. SNOM には大きく分けて開口型と散乱型があるが、散乱型 SNOM は開口型に比べ高空間分解能であるにもかかわらず、低温で動作する装置が開発されていない。そこで、低温での SNOM 測定を可能にするシステムの開発を行った。低温原子間力顕微鏡 (AFM) 装置を基本にして、SNOM 機能を付加した。本装置では、大きなバックグラウンド中の微弱な近接場信号を検出する必要があり、様々な工夫を施した。光照射及び検出光学系の最適化、AFM-SNOM 測定の同期と時定数のマッチング等の改良を行った。その結果、既存の SNOM では困難な低温測定と高空間分解能測定を両立可能にした新しい散乱型 SNOM 装置の開発に成功した。
2. 開発した低温散乱型 SNOM の性能評価とナノ構造試料の物性評価を行った。信号強度は、プローブの試料表面から距離に対して指数関数的に減衰し、近接場光に特徴的な光信号の検出に成功した。ナノ構造試料の SNOM 像の測定により、空間分解能は 15 nm 程度と評価され、回折限界を超えた高い性能を有することが確かめられた。また、種々のナノ構造試料の測定結果から、SNOM 像のコントラストの定量的な解釈には、試料の誘電率のみならず、ナノ構造のサイズや表面構造を考慮する必要があることを示した。さらに、強誘電体薄膜試料の低温と室温の SNOM 像の比較観察に初めて成功し、低温でのみ強誘電分極の発現による局所的な屈折率変化が観察され、開発した低温散乱型 SNOM が相転移の研究に有力であることが示された。低温で正確な表面構造と高空間分解 SNOM 像を同時に観察可能にした本装置は、新しい物性研究を切り開くことのできる高い価値を有している。

以上のように、本論文は、低温散乱型 SNOM の開発を行い、同一ナノ構造試料の室温および低温の SNOM 像を、高空間分解能で観察することに成功した。また、種々のナノ構造物質の光学測定に成功し、新たなナノ物性研究の分野の開拓を予期させるものであり、その学術的価値は高いと考えられる。よって審査委員一同は、本論文が博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認めた。