

令和元年6月17日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14125

研究課題名（和文）高度物理セキュリティ実現のためのコンパクトなナノ特徴量読み取りシステムの開発

研究課題名（英文）Development of compact setup for measurement of nano-structural characteristics toward realization of novel physical security system

研究代表者

豎直也（Tate, Naoya）

九州大学・システム情報科学研究所・准教授

研究者番号：30466784

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、独自に提案する、ナノ寸法の揺らぎを利用して測定対象物に関する構造情報を読み取る非走査型プローブ顕微鏡の基本原則に基づき、実用化を念頭に置いたナノ特徴量読み取りシステムを開発することにある。本研究の遂行にあたっては、当初の実施計画どおりNational Instruments社製PXIシステムを導入し、対象物との間の局所相互作用に基づく読み取りプローブの微小振動に由来した分子間力と光応答の変動の同システムによる検知を実証した。また、それらの信号の時系列変動が対象物に応じた固有の特徴を示すことを併せて実証した。同成果は、本研究のセキュリティ応用上本質的かつ重要なものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

セキュリティ問題は現代社会において普遍的な検討課題であり、特に物理セキュリティの分野においては、その本質的な解決が強く望まれている。本研究は、対象物が有するナノ寸法の特徴量の読み取りを実用に即したシステムで実現することでこの状況の打破を目指すものであり、今回得られた成果にはその基盤概念を実証したという点において社会的意義がある。また本研究の基盤技術の実証は、セキュリティのみならず、センシングをはじめとする各種ナノ光技術に関する分野においても学術的意義があり、今後各種設計手法および測定手法の開発において波及効果をもたらすことが期待される。

研究成果の概要（英文）：The principal purpose of this study was experimental development of novel setup for measurement of target with nano-scale structural characteristics, which based on basics of ordinally-proposed non-scanning probe microscopy. In the study, as ordinally planned, we adopted NI (National Instruments) PXI system as framework of the setup. As the result, we experimentally verified that minute fluctuation of intermolecular force and optical reaction due to localized interactions between surface of target and tip of measurement probe can be surely measured by using the setup. Moreover, we verified that the temporal fluctuation reveals individuality of each target structure. These results are fundamental and important facts for further discussions on security application of this study.

研究分野：光情報処理

キーワード：光情報処理 光セキュリティ ナノフォトニクス ナノオプティクス プローブ顕微鏡

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

- (1) 近年、紙片や基材といった人工物に埋め込まれた所定の要素に対応する光学的特性や電磁気学的特性が示す特徴量を、対象とする人工物に対する個体認証・真贋認証に活用する「人工物メトリクス」と称するセキュリティ分野における研究活動が活発である。作成した人工物の個別性と複製不可能性が本質となるこの分野においては、製造者と攻撃者との間で技術的ないちごっこが繰り返されている状況であり、すなわち「製造者が導入した作成技術は攻撃者も同様に活用し得る」というパラドックスの問題を普遍的に抱えている。申請者はこのパラドックスを本質的に解決する方策として、人工物に埋め込む要素の微細化とその微小な要素に由来して検知される局在場の振る舞いに関する特徴量を原理的に複製不可能な認証情報として取り扱う「ナノ光メトリクス」を提案している。これまでに申請者と研究協力者らは、製造者でさえ複製し得ないナノ構造を擁することで複製不可能性が原理的に保証される人工物の作成に成功しており、その高いセキュリティ性能については定量的に実証済みである。
- (2) 人工物が有するナノ特徴量の読み取り手法に関しては、人工物の表面ナノ構造と読み取り用の微小プローブとの間に生じる相互作用のゆらぎを利用した非走査型の読み取り方法を申請者が独自に提案し、その手法に関する基本的な原理を実証するまでに至っている。一方で、これまでの実証実験は、既存のプローブ顕微鏡システムを用いて行ったものである。対象物上でプローブを二次元走査することでナノスケールの高分解能を実現する当該システムは、いずれも極めて大型かつ処理時間が膨大であり、特に本研究で想定しているようなセキュリティの実用現場において広く普及することは考え難く、簡便かつ簡易な専用システムの実現が強く望まれている。

2. 研究の目的

上述の背景をもとに、本研究では、ナノ構造に由来する局在場の特徴量を簡便に読み取ることに特化したセキュリティ用途仕様のシステムとして、コンパクトなナノ特徴量読み取りシステムの試作を行い「ナノ光メトリクス」の実用性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の目的

- (1) 開発するナノ特徴量読み取りシステムでは、対象物に対する光励起とそれに伴う対象物-プローブ間相互作用に由来する光学応答と分子間力の検知が基盤となる。ここで、プローブは対象物との距離を一定に保つため、フィードバック系を介した制御により常時ナノスケールの近接と反発とを繰り返している。このとき、対象物とプローブとの間の距離に応じて随時異なるスケールの空間構造と間の相互作用を発現していることが重要である。すなわち、プローブを走査せずとも、ある一点の測定点におけるゆらぎ信号のみから対象物に対して一定領域の空間構造に関するある種の特徴量情報を抽出できる。セキュリティ用途としての既存の走査型プローブ顕微鏡の課題が、精微な二次元走査のための高性能な駆動系と検知結果から高分解能の二次元画像を生成するための後処理系の必要性に伴う大掛かりなシステム構成であるとすれば、二次元走査を必要とせず、なおかつセキュリティ用途という特性上対象物の空間構造そのものではなく特徴量のみを抽出できればよい「ナノ光メトリクス」の概念に基づくと、バーコードリーダーのように簡便に取り扱い可能なコンパクトな読み取りシステムの実現は十分に可能である。
- (2) 本研究において新規に開発を行う「コンパクトなナノ特徴量読み取りシステム」とは、既存のプローブ顕微鏡システムにおける駆動系を z 方向のみに限定し、かつ制御系とフィードバック系とを FPGA モジュール上で一括に実装することで、システム全構成を大幅に簡略化したものである。その実現のために、まず微小プローブとその挙動を制御する z 軸ピエゾとで構成される駆動系を構築し、光励起によりプローブと対象物との間で誘起される相互作用を介して出力される光学応答と分子間力に関する信号を正しく検知する検出系を FPGA モジュールをベースに構築する。
- (3) さらに、同検出系が相応のゆらぎ信号の出力と検知に成功していることを実証でき次第、これまでに申請者が実証済みのナノ特徴量抽出の原理に従い、検知したゆらぎ信号から対象物に固有の特徴量を抽出するための後処理系を併せて FPGA モジュール上に実装することを目指す。さらに、得られた特徴量から個体認証という用途において十分なセキュリティ性能を示すことを定量的に実証する。

4. 研究成果

- (1) 本研究における「コンパクトなナノ特徴量読み取りシステム」の開発にあたり National Instruments 社製 PXI システムを導入し、図 1(a)に示す全体構成図に従い試作システムを構

築した。試作システムの外観と GUI のレイアウトをそれぞれ図 1(b)と図 2 に示す。同システムを用い、対象物との間の局所相互作用に基づく読み取りプローブの微小振動に由来した分子間力と光応答の変動の同システムによる検知を実証した。

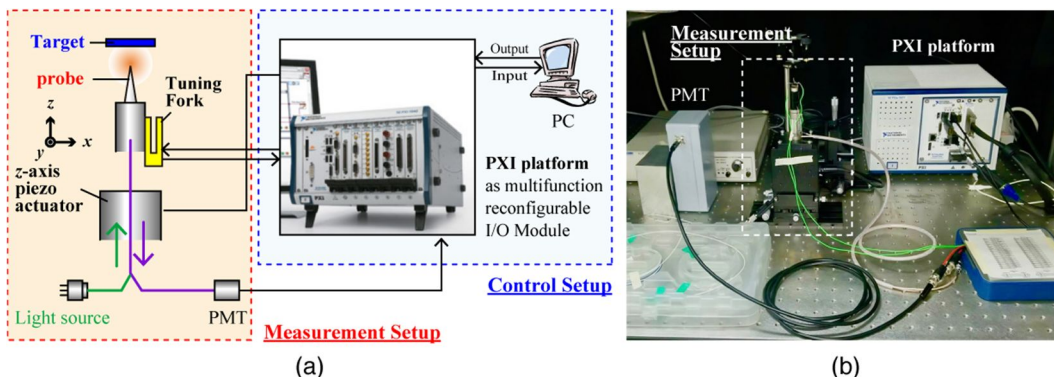


図 1 : (a) 開発する「コンパクトなナノ特徴量読み取りシステム」の構成図と(b) 試作システムの外観。



図 2 : 試作システムの制御インターフェースのレイアウト。

- (2) 分子間力と光応答の時系列変動が対象物に応じた固有の特徴を示すことの実証実験として、二とりの対象物それぞれについて一つの測定点において取得される時系列信号の様子を比較した。信号の検知には、その曲率半径が 50 nm 程度にまで先鋭化したガラスファイバプローブを用い、対象物として GLAD (glancing angle deposition) 法に基づく RF スパッタリングによりシリコン基板上に形成したアルミニウムナノロッド構造を採用した。今回用いた二とりの対象物におけるナノロッドの平均直径はそれぞれ 30 nm と 70 nm である。用いたプローブと対象物の SEM 写真は、図 3(a), (b) 上段に示すとおりである。また、プローブ-対象物間距離は約 50 nm を保つよう調整し、相互作用を誘起するための励起光源の波長は 532 nm とした。図 3(a), (b) 下段に二とりの対象物についてそれぞれ検知した光応答と分子間力応答の時系列信号、図 3(c), (d) にそれぞれを比較した結果を示す。分子間力応答に由来する信号においては二とりの対象物からそれぞれ取得された信号に大きな差異は確認できない一方で、局所相互作用に起因する光応答に由来する信号の振る舞いには明らかな差異が見られた。同実験にて用いたプローブの形質は二とりの対象物双方について共通であったことから、対象物表面の構造の差異が光応答由来の信号の振る舞いの差異として明快に現れることが確認された。特に、図 3(d) において、平均直径 30 nm のナノロッド構造を用いた結果と比較して平均直径 70 nm のそれに特に顕著に見られたように、対象物表面に対するプローブの接近と反発に対して光応答由来の信号強度が明らかに単調でない変動の傾向を示していることがわかる。この結果は、本研究における読み取り方法の基盤物理である、対象物表面-プローブ間距離に応じて異なるスケールの局所相互作用が支配的に発現するという階層性の論理を明示する結果であると言える。なお、このような特徴的な信号変動は、一般的な走査型のプローブ顕微鏡を用いて得られた二次元マップでは一画素の画素値として平均化され埋もれてしまうものである。

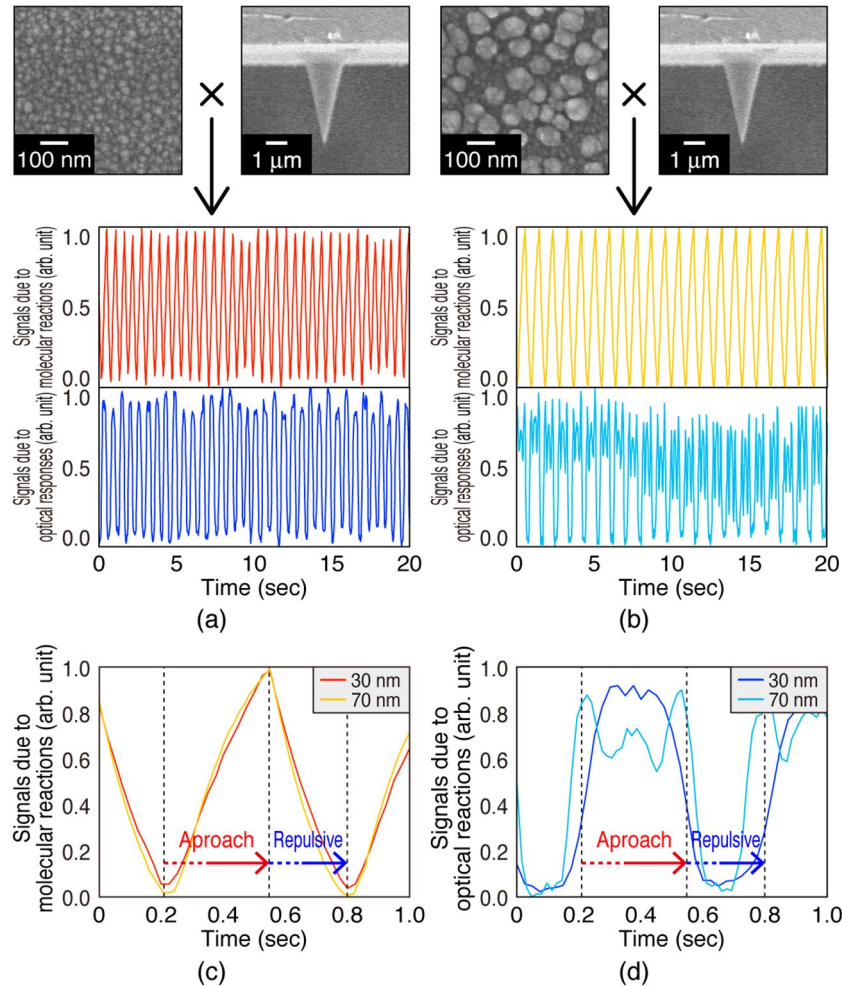


図 3 : (a) 要素寸法 30 nm と(b) 70 nm の対象物に対する光学応答と分子間力の変動、および(c) 両対象物に対する光学応答と(d) 分子間力の比較結果。

5 . 主な発表論文等
(研究代表者は下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

N. Tate and M. Naruse, "Nanoscale hierarchical optical interactions for secure information," Nanophotonics, 査読無, Vol. 6, Issue 3, pp. 613-622 (2017).

[学会発表] (計 5 件)

N. Tate, N. Yoshida, Y. Ueba, S. Nishio, Y. Ohyagi, M. Hoga, M. Naruse, and T. Matsumoto, "Nanoscale artifact metrics based on application of interferometric measurement," The 8th Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP2018) (Osaka, Dec. 18-22, 2018).

N. Tate, "Nanoscale character extraction for nano-optical metric system," The 7th Korea-Japan Workshop on Digital Holography and Information Photonics (DHIP2017) (Daegu, Dec. 19-22, 2017).

樗木卓朗, 豎直也, "PXI プラットフォームに基づく近接場光学顕微系の構築", 第 19 回情報フォトニクス研究グループ研究会(秋合宿) (2018.9.10-12, 那須オオシマフォーラム) .

八木良彰, 中島俊亮, 豎直也, "Implementation of compact non-scanning probe system for nano-photonic security", 電子情報通信学会 光エレクトロニクス (OPE) 研究専門委員会 2017 年 12 月研究会 (2017.12.7-8, まりんぴあみやこ) .

八木良彰, 中島俊亮, 豎直也, "ナノ光セキュリティ実用化のためのコンパクトな NOM システムの開発", 第 18 回情報フォトニクス研究グループ研究会(秋合宿) (2017.9.8-10, 休暇村志賀島) .

[図書] (計 1 件)

N. Tate, "Nanophotonics-Based Self-optimization for Macro-optical Applications," Progress in Nanophotonics IV, pp. 87-122 (M. Ohtsu and T. Yatsui Eds., Springer, 2017).

〔産業財産権〕

出願状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

研究協力者

〔主たる渡航先の主たる海外共同研究者〕

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

〔その他の研究協力者〕

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。