

# ナノフォトニクスによる情報セキュリティ技術の創成 (111603006)

## Development of technology for information security based on Nanophotonics

### 研究代表者

大津元一  
東京大学

Motoichi Ohtsu The University of Tokyo

### 研究分担者

成瀬 誠<sup>†</sup> 八井 崇<sup>††</sup> 松本 勉<sup>†††</sup> 法元盛久<sup>††††</sup> 大八木康之<sup>††††</sup>  
Makoto Naruse<sup>†</sup> Takashi Yatsui<sup>††</sup> Tsutomu Matsumoto<sup>†††</sup>  
Morihiisa Hoga<sup>††††</sup> Yasuyuki Ohyagi<sup>††††</sup>

<sup>†</sup>情報通信研究機構 <sup>††</sup>東京大学 <sup>†††</sup>横浜国立大学 <sup>††††</sup>大日本印刷株式会社  
<sup>†</sup>National Institute of Information and Communications Technology  
<sup>††</sup>Yokohama National University <sup>†††</sup>Dai Nippon Printing Co., Ltd.

**研究期間** 平成 23 年度～平成 25 年度

### 概要

研究代表者らが世界を先導するナノフォトニクス技術に基づき、伝搬光を用いたホログラムの3次元像再生等の効用を維持した上で、従来の光の回折限界を打破し、ナノ領域における物質の寸法・形状制御と近接場光によって、新たなセキュリティ階層を実現するという斬新な基盤技術(ナノフォトニックセキュリティ技術)を構築し、同時に、耐クロウン性などのセキュリティの評価基盤を構築し、飛躍的に機能・性能を向上させた新たな情報セキュリティ基盤技術を創成する。

### 1. まえがき

社会経済・生活の根幹にあるクレジットカードや紙幣等の情報資源や価値資源としてのモノの安心・安全を守る確固たる社会基盤の構築のため、既に偽造の危機にある従来のホログラムに基づく光セキュリティの高度化が不可欠である。本研究は、ナノ領域における光と物質の相互作用(ナノフォトニクス)によって耐クロウン性等を飛躍的に高めたセキュリティ技術の創成により、成りすまし防止技術等として、大量のモノとモノがつながるユビキタスネットワーク社会の安心・安全の確立に貢献することを目的とする。

### 2. 研究開発内容及び成果

本研究は、ナノ領域における光と物質の相互作用・ナノフォトニクスの基本原理に基づき、従来の光の回折限界を打破し、新たなセキュリティ階層を実現するという斬新な基盤技術・ナノフォトニックセキュリティ技術を構築することにより、大量のモノとモノがつながるユビキタスネットワーク社会の安心・安全の確立に貢献することを目標としており、それに向けた「原理構築と実証」、「デバイスの実現」、「設計・評価基盤の確立」を軸に研究開発を進めた。

本研究提案は「原理構築と実証」、「デバイスの実現」、「設計・評価基盤の確立」の三項目から構成される。「原理構築と実証」について得られた成果として、「ナノフォトニックセキュリティ」の基本性能を評価するためのモデルの構築とそのモデルに基づいたアンギュラースペクトルを用いた評価指標の確立、および FDTD 法を用いた微小領域における電磁界応答のランダムネス依存性の検証結果からの「耐クロウン性の向上」の実証、さらにはマクロな手法に基づく読み出し方式の提案と実証が挙げられる。また、近接場光相互作用を利用した読み出し方式の改良についても、ゆらぎを利用した「2次元走査不要の近接場光情報読み出し方式」の提案と実証が成された。「デバイスの実現」については、「レジスト倒壊パターン」とい

う独自のコンセプトに基づく複製不可能な微細ランダムパターン之作製プロセスの確立とそれをチップ化しプラスチックカード表面に貼付けた試作カードを実現している。「設計・評価基盤の確立」については、作製した微細ランダムパターンを汎用的な評価指標に基づきそのセキュリティ性能を評価し、当初の想定以上の性能を示すことを定量的に示した。以下、特に、上述した三項目の相互連携の結果本研究提案において確立した「ナノ人工物メトリクスデバイス」について述べる。

「デバイスの実現」において取り上げた「レジスト倒壊パターン」は、その微細性と複製困難性から「ナノ人工物メトリクスデバイス」のテンプレートとして有用である。本研究では「レジスト倒壊パターン」を活用した試作デバイスの作製とそのセキュリティ性の評価指標の確立に関する検証を行った。電子線リソグラフィ技術を用いて形成したレジスト構造は、リソ時の毛細管力等の影響により不規則に倒壊することが知られており、この現象を利用することでナノスケールのランダムパターンを形成した。得られたレジストパターンをマスクとしてシリコンをエッチングした結果を図 1(a)に示す。電子線リソグラフィ技術の加工限界を越える、最小寸法 10 nm 以下のランダム構造の形成に成功していることがわかる。さらに、上記「ナノ人工物メトリクス」を個体認証として活用することを想定し、作製した「レジスト倒壊パターン」をチップ状に加工した「ナノ人工物メトリクスチップ」をプラスチックカード表面へ貼り付けることで試作カードを実装した。試作カードの外観を図 1(b)に示す。この試作カードを用いて、各種の標準耐久テストを行った結果、実用上剥がれない程度の耐久性があることを実証した。以上の結果から「ナノ人工物メトリクス」のチップ試作とその個体認証への適用可能性、さらに実装可能性に関して客観的な見通しを得ることに成功した。

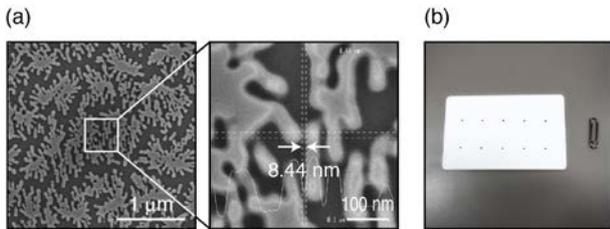


図 1: 作製した「レジスト倒壊パターン」の SEM 画像。  
(b)「ナノ人工物メトリクスチップ」を計 10 個貼り付けた試作カードの外観。

図 1 に示した「レジスト倒壊パターン」のランダム性に基づき人工物の個体認証を行う「ナノ人工物メトリクスデバイス」のセキュリティ性について、世界初の具体的な試みを行った。具体的には、図 1(a)に示した試作パターンに対して最先端の集積回路開発に用いられる測長走査電子顕微鏡と情報処理技術を用いてナノメートルオーダーの精度で読み取る人工物メトリックシステムの評価指標として、誤一致率 (FMR) と誤不一致率 (FNMR) を算出した。ここで、FMR は個別性、FNMR は読み取り安定性に関する指標である。無数のサンプルパターンをもとに算出した結果を図 2 に示す。異なるサンプル間の類似度はほぼ 0、そして FMR と FNMR のカーブの間に深い谷が存在することから、「ナノ人工物メトリクスデバイス」が十分なセキュリティ性をもつことが定量的に示された。

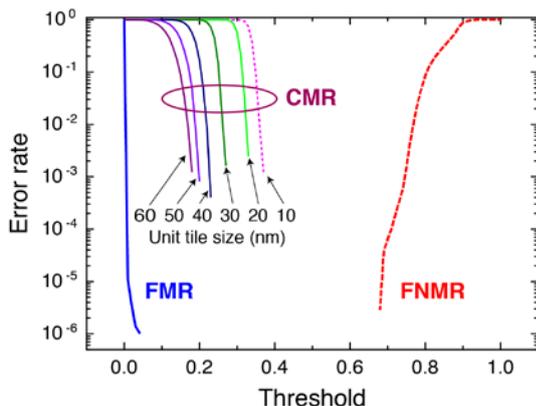


図 2: 「レジスト倒壊パターン」に対して算出した誤一致率 (FMR) と誤不一致率 (FNMR)。

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

新規サービスや新規産業創出という観点からは、あらゆるモノ及び情報が情報ネットワークに接続される Internet-of-Things (IoT) 時代への急速な発展期において、人工物の固有性を保障する技術として本研究開発で取り組んできた「ナノ人工物メトリクス」は、情報セキュリティ分野における多くの応用領域において発展可能性が高いと考えており、ナノ人工物メトリクスからの新規情報読み出し技術などについては、SCOPE プロジェクト終了後においても産業化を意識した研究開発を継続して行う予定である。しかしながら、本研究開発及び近未来における研究開発は原則として基礎研究として展開し、その応用領域を必ずしも情報セキュリティに限定しないものと考えている。例えば光機能部材やエンターテイメントなど含め、新規サービスについては柔軟な発想を重視し、多様な可能性を探求したいと構想している。

本研究開発で得られた成果が他の研究へ及ぼす波及効果という点では、既にいくつかの特筆すべき事象が得られて

いる。まず、ナノ人工物メトリクスは情報セキュリティ分野において非常に高い関心を集めており、情報系の研究者とナノテクノロジーや材料分野の研究者の協調融合の効果を具体的な形で広い範囲に示すことが出来た。また情報セキュリティ分野から指摘された「読み取り安定性」という性能指標は、ナノフォトニクス分野に対して、近接場光を基礎とした偏光非対称変換、非相反光伝搬、コンプレックス情報読み出しといった、それまで全く存在しなかった新概念と新技術を創出するに至らせた。これらの一連の結果は、ナノフォトニクスという光及び材料技術を基礎としたが学術分野と、情報セキュリティという情報系学術分野が相互に波及効果をもたらしたことに他ならないと考えられる。

### 4. むすび

上述のとおり、本研究提案は「原理構築と実証」、「デバイスの実現」、「設計・評価基盤の確立」の三項目の相互連携の結果、「ナノ人工物メトリクス」という枠組みのもと、理論・実験両面についてその有用性を実証することに成功した。本研究課題の実用化には、コスト要求を満たすデバイスの量産技術や現在流通しているセキュリティシステムへの組み込み技術といった周辺技術に関するリサーチとそれに応じた検討・検証が別途必要であると考えられ、今後とも継続的な進展が期待される。

#### 【誌上発表リスト】

- [1] T. Matsumoto, M. Hoga, Y. Ohyagi, M. Ishikawa, M. Naruse, K. Hanaki, R. Suzuki, D. Sekiguchi, N. Tate, and M. Ohtsu, "Nano-artifact metrics based on random collapse of resist," Scientific Reports, **4**, 6142, pp. 1-5 (2014).
- [2] M. Naruse, N. Tate, Y. Ohyagi, M. Hoga, T. Matsumoto, H. Hori, A. Drezet, S. Huant, and M. Ohtsu, "Optical near-field-mediated polarization asymmetry induced by two-layer nanostructures," Opt. Exp. **21**, No. 19, pp. 21857-21870 (2013).
- [3] 法元 盛久, 石川幹雄, 大八木 康之, “電子線リソグラフィ加工を用いた光機能デバイスの開拓”「光技術コンタクト」**51**, No. 8, pp. 30-34 (2013年 8月) .

#### 【申請特許リスト】

- [1] 法元盛久, 石川幹雄, 中田尚子, 福田雅治, 河野佑介, 千葉 豪, 大八木康之, “個体認証用構造体の製造方法”, 日本, 2012年 9月 14日 .
- [2] 松本 勉, 大津元一, 堅 直也, 川添 忠, 成瀬 誠, 法元盛久, 大八木康之, “真贋認証対象物、真贋判定装置及び真贋判定方法”, 日本, 2013年 2月 28日

#### 【受賞リスト】

- [1] 堅 直也, 平成 23 年度 光科学技術研究振興財団 研究表彰, “近接場光を用いたナノ光情報システム”, 2012年 3月 8日

#### 【報道掲載リスト】

- [1] “偽造防ぐナノ刻印---横国大など、ICカードなど対象”, 日本経済新聞(16面) , 2013年4月2日
- [2] “DNP, 横国大, NICT, 東大, ナノレベルのランダムパターンで個体認証する技術「ナノ人工物メトリクス」を開発” Optronics, 2013年4月2日
- [3] “大日本印刷、横浜国立大などと共同で個体認証する技術「ナノ人工物メトリクス」を開発” 日経電子版, 2013年 4月 2日

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

[http://www.dnp.co.jp/news/10082528\\_2482.html](http://www.dnp.co.jp/news/10082528_2482.html)