

研究課題別 事後評価結果

1. 研究課題名： ナノフォトニックデバイスとシステムの開発

2. 研究代表者： 大津 元一(東京大学 大学院工学系研究科 教授)

3. 研究内容及び成果：

本研究は、「情報のキャリアとして伝播光ではなく近接場光を使い、近接場光エネルギーを少数個のナノ寸法物質間で転送すること」を基本構想とし、近接場光の局在性に基づく固有の現象と機能を明らかにして、その応用へ展開を図ったものである。

3-1. ナノフォトニックデバイス

ナノ物質間の近接場光エネルギー移動と高速緩和を利用してナノ寸法の光デバイスを作製し、機能検証を行った。論理ゲートの基本形態である AND ゲート(ナノフォトニック・スイッチ)、NOTゲートを提案し、CuCl量子ドットを用いた低温での実験によりその動作確認を行った。また、ZnO ナノロッド中の多重量子井戸、InAlAs 量子ドットを用いて室温動作が可能であることを確認した。

これらのデバイスが単一光子で動作することを確認し、極めて少ないエネルギーで動作することを検証した。また、これらのデバイス間、あるいは従来型光デバイスとの接続によるデバイス配線法を確立して、集光デバイスを開発した。

3-2. ナノ光加工

近接場光の非断熱過程を使った新しいナノ寸法加工法を開発した。まず非断熱過程の原理を確認するために光化学気相堆積を実施し、実験結果と理論とが良く一致することを示した。これを光リソグラフィに応用し、微細パターンの形成の実証、加工装置の実用的ひな形の構築、ナノフォトニックデバイスの作製、軟 X 線用回折格子やゾーンプレートの作製を行い、その実用性を示した。さらに光アシストのスputteringに応用し、大面積一括加工への道を開いた。

この他、ZnO ナノロッドの結晶成長とそのフレキシブル基板上への垂直配向、近接場光アシストによるナノインプリントとその金微粒子析出への応用、ZnO ナノロッドによる光触媒機能の検証、光化学気相堆積による光学特性に優れた GaN 微結晶の作製等、ナノ加工技術のさらなる展開の可能性を示した。

3-3. ナノフォトニックシステムの構築

情報通信システムへの応用として複数のナノフォトニックデバイスを組み合わせて Content Addressable Memory(CAM)システムを構成し、ナノ寸法領域で超低消費エネルギー動作するシステムを実証した。さらに情報処理システムへの応用を展開するために、痕跡記録機能を有する光メモリを提案し、機能評価を行った。

4. 事後評価結果

4-1. 外部発表(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

4-1.1 外部発表、特許出願

期間中の外部発表、特許等の実績を示す。

発表論文：(邦文) 0件/(英文) 51件

口頭発表：(国内) 123件/(海外) 92件

特許出願：(国内) 30件/(海外) 0件

原著論文、招待講演等適切に行われ、学会からの評価も高く、各種受賞をしている。特許出願数も申し分ないが、外国出願がないことに問題が残る。

4-1.2 研究の成果

ナノフォトニクス機能素子に関しては、InAlAs系自己組織化量子ドット及びZnO系ナノロッド構造において、室温での動作機能創成と評価に成功している。将来の新規デバイスが期待される基本原理が実証されており、新たな技術分野の展開、将来の新産業創出に期待が持てる。しかしながら、その実態はデバイスとしての仕上がりの水準には達しておらず、実用化への課題(論理演算デバイスにおける信号伝搬の際のSN劣化等)が残されている。

ナノ光加工については、一括近接場光リソグラフィ技術の開発から、軟X線用回折格子光学素子製作やゾーンプレートへの応用等、企業との連携まで進み、プロトタイプ機の製作に至っている。また、光検出器の可視域への感度拡大、近接場光触媒効果の開発、太陽電池の効率向上によるエネルギー分野への展開等も視野に入れ、異分野への波及効果を持つ内容に展開されている。従来の半導体加工プロセス手法を凌駕する新しいポテンシャルが感じられる。

近接場光の機能を“Dressed Photon”としてより一般化した概念を創り出した点を評価する。近接場光を利用した演算手法(デバイス)やナノ加工の技術はこれまでになく、本プロジェクトから発せられた成果は、新たな科学技術分野を切り開く大きな可能性を有している。

総じて、ナノフォトニックデバイス・システムの実用化はまだ遠いが、独自のアプローチから得られた成果が広く科学技術全般に及ぼす影響には重大なものがある。本テーマから生み出されるデバイス製作には従来の手法からの質的転換があり、それを実用化に導くためにはより長い基盤研究が必要とされるであろう。言い換えれば、本プロジェクトは、より長期的な視点に立った発展研究として評価されるべきものであろう。

4-1.3 研究遂行、研究費

電子工学と光学の両システムの科学技術を融合させた幅広い実験基盤の上に構築された研究であり、研究費はこれに応じた適切な支出がなされ、十分な成果が出ている。実用化に近い部分や装置開発に関しては、企業を含む外部との適切な連携がなされている。今後、他分野、他研究機関との共同研究への発展がより望まれる。

4-2. 成果の科学技術への貢献

日本の現状においては、電子工学・光学の両系の分野でそれぞれの科学技術の概念にとらわれた研究開発が行なわれている場合も少なからずあり、これらの分野を融合したナノフォトニクスは、まだ普及の途にあるといえる。

ナノフォトニクスの科学技術基盤が本プロジェクト推進によって高まったことを受けて、次の革新分野としての認識が広まりつつあり、今後の大きな展開が期待される。日本発の科学技術領域の広がりという観点からも、また日本が諸外国をリードするための新産業創出の核の一つとしても、極めて重要な研究課題であり、より幅の広い発展研究が推進されることを期待する。

4-3. その他特記事項

2004: 紫綬褒章「光電子工学に関する研究」

2005: 井上春成賞「近接場光顕微分析システム技術の確立」

2007: 電子情報通信学会・業績賞「ナノフォトニクスの創造とその先導研究」

2009: ドイツ J.Springer Prize for Applied Physics “Outstanding work on nanoscale science and its enormous impact on basic research as well as a great variety of applications”