

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560342  
 研究課題名（和文）  
 近接場光を用いたナノスケール光・電子融合素子要素技術の研究  
 研究課題名（英文）  
 Development of optical near-field generator and detector  
 研究代表者  
 福田 光男（Mitsuo Fukuda）  
 豊橋技術科学大学・工学部・教授  
 研究者番号：50378262

## 研究成果の概要：

光学顕微鏡で波長以下の像（回折限界以下の像）を観察できないように、伝播光を光の回折限界以下の微小な領域へ適用することはできない。しかし、近接場光（入射光の周波数で振動する空気中へ染み出した電気力線）を用いると当該回折限界を打破できる可能性ある。

本研究では、今後の高度情報化社会を支えるシステムのキーデバイスとなる高密度に集積可能な光・電子集積デバイスの実現に向け、伝播光を近接場光へ変換する素子構造の開発を行うとともに、当該素子により発生させた近接場光を介した光周波数信号の伝達を実現した。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気・電子工学 ・ 電子デバイス・電子機器

キーワード：光デバイス、集積化、近接場光

## 1. 研究開始当初の背景

今後益々増大する情報量の処理に対応するためのシステムのキーデバイスの一つに光電子集積回路（OEIC）がある。しかし、OEICは、伝播する光を用いているため、デバイスの集積度を上げることができず、その集積度は電子デバイス集積回路と比較して、数桁小さな状況であった。これらの背景の下に、本研究では、高密度実装を可能とする近接場光を用いた光・電子融合素子の基本素子である

近接場光の発生器と検出器の開発を目指した。さらにOEIC内部の信号伝達を光の周波数を用いて行うことにより伝達信号量を一桁以上高めることのできる技術の開発を目指した。

本開発のデバイスの技術に関連した分野は、近接場光（及びエバネッセント光）の分野、OEICの分野、光波検波の分野3つに大別できる。

近接場光の分野：本分野の研究はここ10年

間に急速に進展し、近接場光顕微鏡によるナノスケールの微細観察や近接場光によるバイオセンシングの研究等色々な分野への応用がなされつつある。しかし、本研究と類似した構造のデバイス、近接場光を介した光波検波による信号伝達の研究は未だなかった。

OEICの分野： 上述したように、光の性質のために集積度を上げることができず、それぞれのデバイスが単純に同一基板の上に集積され、用いられている状況であった。

光波検波の分野： 基本技術は今から20年ほど前に光ファイバを用いた光波通信対応で研究されていたが、実用化にはいたっていない。

このような状況の下で本研究は開始された。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は以下の3点である。

(1)OEICへ適用可能な新規構造の近接場光発生器と検出器を提案し、それらの作製技術を確立すること、

(2)近接場光を介した光の周波数信号伝達を実現すること、

(3)さらに、本技術を応用した光の回折限界を超えて集積化が可能な新概念で動作する光-電子融合デバイス実現の可能性を探ること。

## 3. 研究の方法

本研究を進めるにあたり、研究計画を以下の3段階に別けて遂行した。

### (1)近接場光発生器の作製技術の確立

近接場光発生器として、金属-誘電体混合膜（本研究で新規に提案）を半導体レーザーの光出射面（端面）に形成し、レーザー光を近接場光へ変換できる構造とし、本膜厚と近接場光の発生状況の相関を明らかにすることを最初に行った。さらに、本発生器を用い、光源であるレーザー部の周波数変調を行い、近接場光を介して当該光周波数変調信号検出の可能性を光ヘテロダイン検波法により検討した。

### (2)近接場光を用いた光波検波器作製技術の確立

金属-誘電体混合膜を用いて、近接場光検出器を作製し、検出感度の点から膜構造の最適化（混合膜の厚さ及び面積等）を行なうこととした。さらに、検出器の動作速度を向上するために、光通信システムで汎用的に用いられているフォトダイオードの電極構造を採用することとした。

### (3)上記デバイスによる光波信号伝達の確認

光の強度信号の伝達のみではなく、近接場光（及び表面プラズモン）を介して信号を送受信する際に、ホモダイン/ヘテロダイン検波を行い、光波検波のための最適な膜形状を検討した。

## 4. 研究成果

本研究の成果を以下に示す。また、これらの研究成果は次項に示す発表論文等で積極的公表した。

### (1)近接場光発生器の作製技術の確立

図1に示すように、銀ペーストと誘電体微小球を混合してレーザー光出射面へ塗布し、焼結することにより、微小誘電体が銀に埋め込まれた構造の膜を作製した。本構造のデバイスの半導体レーザー部に電流を注入して発光させ、膜の出射側表面に発生する近接場光の強度をモニタすることにより、近接場光強度が最も強くなる膜厚を求めた。さらに、誘電体微小球と銀ペーストの最適混合比を求めた。また、膜表面上の近接場光の強度分布をモニタし、近接場光発生領域の広がりや膜厚の相関を明らかにした。これらの結果より、膜の作製条件（近接場光発生器に最適な膜厚及び銀ペーストと石英球の混合比）を求めることができた。

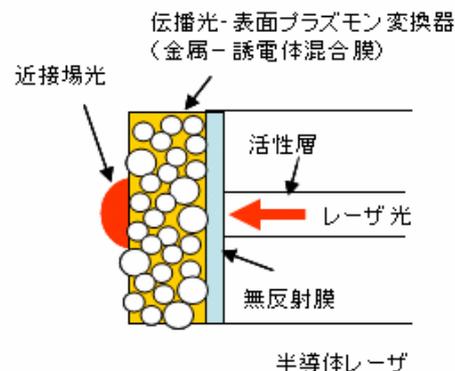


図1 半導体レーザー端面上の伝播光-表面プラズモン変換器

### (2)近接場光検出器作製技術の確立

図2に示すように、シリコン基板上に金属-誘電体混合膜を作製し、混合膜とシリコンの界面に形成されるショットキー接合により、本界面に発生する近接場光を検出する構造を提案した。本素子に外部からレーザー光を照射し、検出された光電流が最大になる誘電体微小球と銀ペーストの混合比及び焼結条件を求めた。さらに、近接場光検出素子の高速化については、従来のフォトダイオードと同様に、接合容量及び電気抵抗の低減の

観点から電極形状の最適化を行い、3 dB 帯域が数百 MHz 以上の素子作製に成功した。また、光周波数信号の検出を試み、外部から 2 つの波長のレーザ光を本検出器へ照射し、そのレーザ光の差周波数の電気信号出力を取り出すことができた。

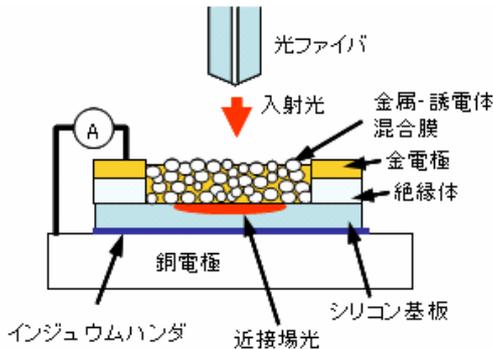


図 2 開発した表面プラズモン検出器側面の断面図

(3)上記デバイスによる光波信号伝達の確認  
最適構造の混合膜が作製された近接場光発生器の半導体レーザ部分に変調電流を印加し、混合膜へ光強度変調されたレーザ光を直接入射することにより、近接場光も同様に強度変調されることを明らかにした。さらに、半導体レーザを周波数変調し、膜の出射側に発生する近接場光に対して光ヘテロダイン検波を行い、変調電流振幅に対するビート波長（周波数）の変位（FM変調効率）と変調周波数に対応する光周波数信号（図 3）を検出することができた。

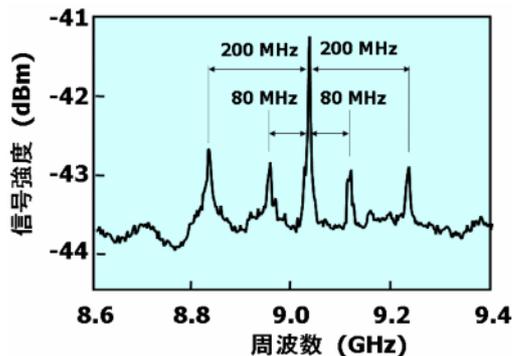


図 3 光ヘテロダイン法により検波された周波数多重変調スペクトル (1.55  $\mu$ m 半導体レーザ、80 MHzと200MHzで変調)

これらの成果により、本研究の目標はほぼ達成され、新規な光・電子融合デバイス開発の基礎を築くことができた。

## 5 . 主な発表論文等

( 研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線 )

[ 雑誌論文 ] ( 計 3 件 )

M. Fukuda, A. Utsumi, 他7名, Performance of random metal-dielectric film on optical signal transmission, IEEE Photonics Technol.Lett., 査読有, 20巻, pp. 590-592, 2008.

M. Fukuda, S. Ooyama, A. Utsumi, 他3名, Effect of optical feedback noise on tunable diode laser spectroscopy, Appl. Phys.B, 査読有, 90巻, pp. 269-272, 2008.

M. Fukuda, Y. Yamasaki, N. Oota, and A. Utsumi, Optical near-field generation and detection by using a metal-dielectric film fabricated from silver paste and spherical fused silica, IEEE Photonics Technol. Lett., 査読有, 19巻, pp. 1160-1162, 2007.

[ 学会発表 ] ( 計 11 件 )

船戸宏也、竹本直弘、小玉豊久、杉浦遼平、遠山誠、山本章太、内海淳志、福田光男, 表面プラズモンと近接場光を介した信号伝達の検討, 第 69 回応用物理学会学術講演会, 査読無し, 2008 年 9 月 2 日, 中部大学 .

M. Fukuda, H. Funato, M. Tohyama, 他 5 名, Optical coherent signal transmission through surface plasmon and optical near field, 13th OECC/33rd ACOFT, 査読有, 2008年7月 9 日, シドニー、オーストラリア .

M. Fukuda, A. Matsuo, I. Farzana, A. Utsumi, Novel optical sensing technique for water content in plants, Inter. Conf. on Agri. Engineering, 査読有, 2008 年 6 月 25 日 ,ヘルソニソス、ギリシャ .

竹本直弘、船戸宏也、杉浦遼平、小玉豊久、山本章太、遠山誠、内海淳志、福田光男, 金属 - 誘電体混合膜による近接場光の発生と信号伝達, 電子情報通信学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究会, 査読無し, 2008 年 5 月 23 日, 福井大学 .

内海淳志, 山崎裕介, 太田倫裕, 福田光男, シリカ微小球を含む金属膜の光伝搬特性, 第68回応用物理学会学術講演会, 査読無し, 2007年9月5日, 北海道工業大学.

山崎裕介, 太田倫裕, 内海淳志, 福田光男, 半導体レーザを用いた近接場光発生素子の動作特性, 第68回応用物理学会学術講演会, 査読無し, 2007年9月5日, 北海道工業大学.

A. Utsumi and M. Fukuda, Propagation characteristics of a random-metal dielectric film for optical near-field generator, International Workshop and Conference on Photonics and Nanotechnology (ICPN-2007), 査読有, 2007年12月17日, パタヤ, タイ.

M. Fukuda, A. Utsumi, Y. Yamasaki, H. Funato, N. Takemoto and N. Oota, Performance of random-metal dielectric film for signal transmission, Material Research Conference (MRS) 2007 fall meeting, 査読有, 2007年11月27日, ボストン.

A. Utsumi, M. Fukuda and T. Tanabe, Optical near-field generator and detector fabricated from random-metal dielectric film, Inter. Workshop on Holographic Memories, 査読有, 2007年10月27日, ペナン, マレーシア.

M. Fukuda, Y. Kondo, and T. Masuda, Influence of optical feedback noise on tunable laser diode spectroscopy, 6th Inter. Conf. on Tunable diode laser Spectroscopy, 査読有, 2007年7月10日, ランス, フランス.

M. Fukuda, Y. Yamasaki, A. Oguma, A. Utsumi and N. Oota, The operating characteristics of an optical near-field generator fabricated on laser diodes, SPIE Microtechnologies for the new millennium, 査読有, 2007年5月3日, マスパロマス, スペイン.

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

ただし、本科研費取得前に出願済みの特許、特願 2006-23102 について、本研究成果に基づいて、出願審査請求を提出(平成 21 年 1 月 30 日)。

〔その他〕

Webページ：<http://www.photon.eee.tut.ac.jp>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

福田 光男  
豊橋技術科学大学・工学部・教授  
研究者番号：50378262

### (2) 研究分担者

内海 淳志  
舞鶴工業高等専門学校・講師  
研究者番号：30402663

田辺 隆也  
茨城工業高等専門学校・教授  
研究者番号：70390408

### (3) 連携研究者