

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 4月25日現在

機関番号：13301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23651136

研究課題名（和文） 微小領域発光計測ができる1チップ集積分光センサ

研究課題名（英文） Integrated spectrum sensor for measurement of microscopic light emission

研究代表者

北川 章夫 (KITAGAWA AKIO)

金沢大学・電子情報学系・教授

研究者番号：10214785

研究成果の概要（和文）：集積回路の配線層の構造を利用したフォトンクスとエレクトロニクスを融合して新機能を作り出す試みである。配線層の金属と誘電体により光をフィルタリングし、アクティブ・ピクセル・センサ(APS)で電圧値に変換する。複数の異なるフィルタリング特性を持つ APS 出力から演算処理により、入射光のスペクトラムを推定する方法を示した。CMOS 180nm テクノロジーを使用したデバイスの試作実験の結果、可視光の分光が可能であることが実証された。本研究成果は、高速サーモビジョンや微小領域の発光または吸光分析等への応用が可能である。

研究成果の概要（英文）：Novel sensor principle is proposed for a spectrophotometric analysis. The phonic filters are implemented in the interconnect layers of the integrated circuit and the active pixel sensors (APS) are formed on the Si chip. The visible or near-infrared spectrum is estimated by data processing with the output from the sensor pixels which have the different spectral-response characteristic. The device is designed by using FDTD simulation and prototyped with CMOS 180nm process. The characteristic spectral-response for each APS is successfully observed. The prosed sensor device is applicable to the high-speed thermo-vision system, and micro-emission or absorption spectrometry.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：集積化センサ

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・マイクロ・ナノデバイス

キーワード：センサ、分光感度特性、可視光スペクトラム、集積回路、ピクセル

## 1. 研究開始当初の背景

現在の集積回路の加工寸法は光の波長の1/10以下となっており、設計寸法の空間分解能（加工精度）が5ナノメートル程度であることを利用すれば光学計測の基礎技術である分光計測装置の微細化が可能ならばである。必要な光伝搬特性が得られるような金属絶縁体構造を、イメージセンサ上の配線層に作り込むことにより、光波長選択制のあるアクティブ・ピクセル・センサ(APS)を作成し、複数の分光特性を持つ APS の出力を演算処

理することにより、入射光の可視～近赤外スペクトラムを推定することができるという着想に至った。

従来の分光器は、モノクロメータや FTIR のような機構を必要としていた。MEMS（マイクロ電子機械システム）により、微小なモノクロメータを作成する研究は行われていたが、原理的に寸法の縮小と精度が相反する。本提案手法は、機構部品を持たず、微細化とともに性能が向上する点が特長である。微小領域の短時間分光計測などの新しい研究手

法への発展が期待できる。

## 2. 研究の目的

以下の3点について明らかにすることを目的として、本課題を実施した。

### (1) 集積分光センサの試作

標準的な集積回路製造技術である CMOS プロセスにより集積分光センサを試作し、動作確認する。

### (2) 集積分光センサの特性評価

実際に分光器として使用できるかどうかを評価するため、分光性能の測定を行う。

### (3) スペクトラムの推定手法を確立する

複数の異なる分光特性を持つ APS の出力を使用して、スペクトラムを求める方法を求める。集積回路の相対精度は極めて高いが、製造ばらつきによる特性の絶対値のばらつきは避けられない。補償回路および信号処理による較正方法を考案する。

## 3. 研究の方法

### (1) FDTD 解析による構造設計

FDTD 法による近紫外光～近赤外光領域の電磁界解析により、波長選択受光デバイスの構造を探す。図1に解析を実施した構造の例

(2個の隣接ピンホール)を示す。ピンホールの直径は250nm～400nmとした。ピンホールは、比誘電率4.0の層間絶縁膜であり、ピンホール外側は、 $2.4e7[S/m]$ のアルミ膜である。

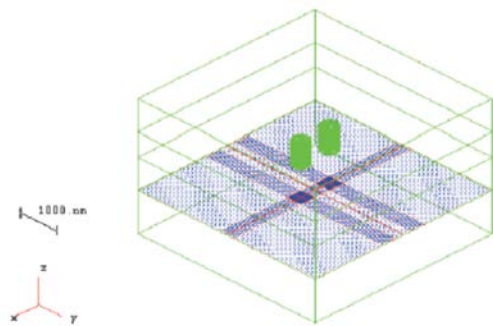


図1 波長選択構造の設計例

この構造例では、ピンホール直径の約1.5倍の遮断波長の短波長通過フィルタ特性を示すことが分かった。

### (2) 集積分光センサ要素回路の設計と試作

#### ① 回路設計

APS 回路（フォトダイオードとダイナミック増幅回路を組み合わせたもの）および必要な周辺回路を設計した。図2にAPS単体の回路構造を示す。製造プロセスとして CMOS 180nm を想定し、最適化を行った。回路設計に必要な CAD ソフトウェアは、東京大学大規模集積システム設計教育研究センターの CAD ツールライセンス配布サービスを利用した。

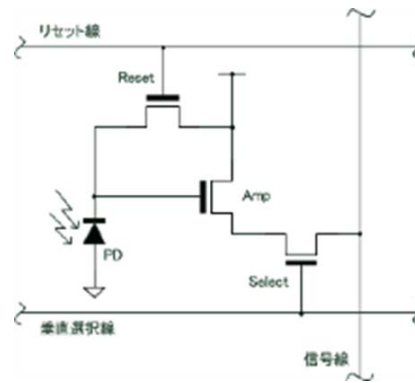


図2 APSの回路構造

多数のAPSに異なる分光特性を持たせ、図3のような構成を取ることで、スペクトラムの推定が可能となる。

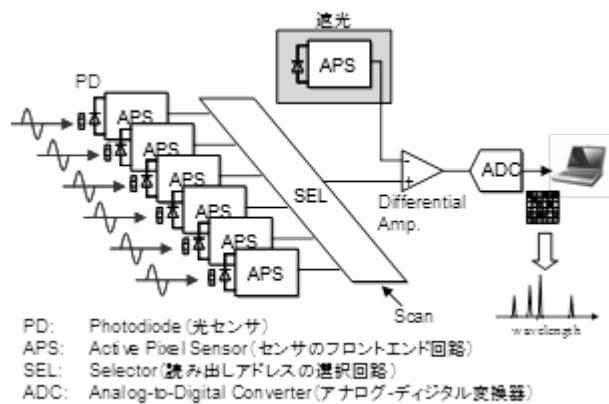


図3 センサの全体構成

#### ② 回路試作

設計した回路は、東京大学大規模集積システム設計教育研究センターが提供する CMOS 180nm 試作サービスを利用して試作した。

#### (3) 試作回路の特性評価

試作したセンサの特性評価のための回路基板および評価回路の設計および試作を行った。また、入射光の強度と波長をコントロールするための分光光源（朝日分光 MAX-303）と光電流を測定する市販のエレクトロメータ（ADCMT 8252）に、専用に設計したシールドボックスを組み合わせ、分光感度特性を調べた。

#### (4) 集積分光センサの性能評価

単体受光デバイスとアレイ状に集積化された単体画素の特性にずれがないか調べた。当初の計画では、アナログ/デジタル信号処理により、スペクトラムの推定を行う予定であったが、試行錯誤を行う必要があることを想定して、PCのソフトウェアにより信号処理を行った。また、製造ばらつきの影響を調べるため、10個のセンサチップと、チップ上の複数のセンサの評価を行った。

#### 4. 研究成果

図4に試作した分光機能を持つAPS（波長選択構造を含む）の顕微鏡写真を示す。APS単体のサイズは、20マイクロメートル角とした。また、図5には、試作センサチップ全体の写真を示す。

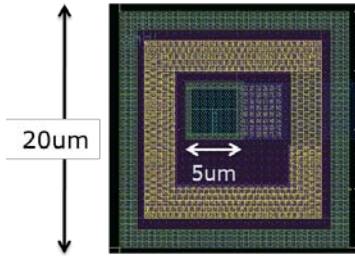


図4 分光機能付きAPSの顕微鏡写真

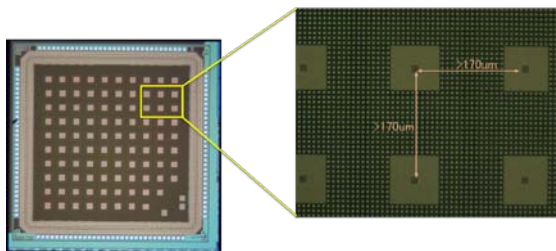


図5 チップ全体の写真(2.5mm角)

図6に、360nmのピンホール型波長選択構造を実装したAPS分光感度特性の一例を示す。ただし、フォトダイオードの分光感度特性と、分光光源のスペクトラムを補正した後の波長選択構造の透過率に相当する特性である。FDTD法によるシミュレーションで予想された遮断波長525nm付近に急峻なカットオフ特性が観測され、シミュレーションによる設計が、正しいことが確認された。しかし、波長700nm近傍での光の透過と450nm近傍での光の反射については、シミュレーションでは予想できなかった。このため、実測に基づいた補正が必要であることが分かった。

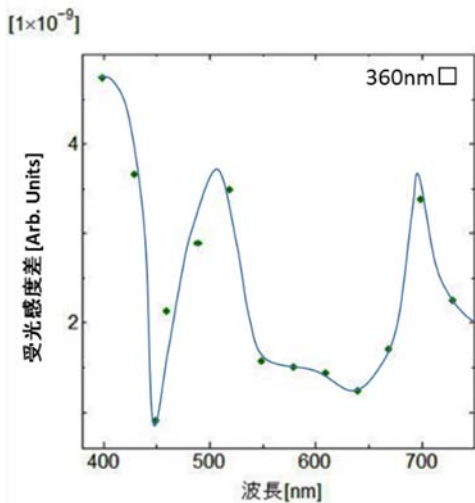


図6 波長選択APSの分光感度特性

初回の試作では、フォトダイオードの光電流が安定せず、分光感度特性を得ることができなかった。この原因について検討した結果、横方向からの光の伝搬により、分光感度特性が乱されていることが明らかになった。図4のセンサは、横方向の光の伝搬を抑制するための対策を施して再試作したものである。図7に、フォトダイオード周辺の断面構造を示す。横方向の光の伝搬に対しても、構造設計を行う必要があることが、本研究により明らかになった。

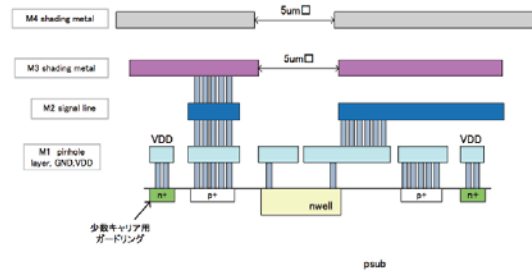


図7 横方向の光伝搬を考慮したフォトダイオードの断面構造

以上の結果から、標準的な半導体製造技術により、集積回路の配線層を用いた波長選択機能が実装できることが示された。しかし、配線層の透過率が小さいため、感度が低いことが課題としてあげられる。センサをより高感度化するため、波長選択制に加えて、透過率の高い配線層構造を探索する必要がある。

今後は、本研究課題で提案したスペクトラムセンサを用いて、高速サーモビジョンによる温度制御や微小領域の発光/吸光分析等への応用にも研究を展開したい。

#### 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7件)

- ① Takaya Handa, Yuhei Yoshimoto, Kazuya Nakayama and Akio Kitagawa, Novel power reduction technique for ReRAM with automatic avoidance circuit for wasteful overwrite, Active and Passive Electronic Components, 査読有, Vol. 2012, 2012, Article ID 181395.
- ② 和田智晃, 秋田純一, 北川章夫, 昆虫音声をういたスマートフォンで投稿可能な環境モニタリングシステム～Chu-lingual～, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol.53, No.3, 2012, pp.1017-1021.
- ③ T. Toba and A. Kitagawa, Wireless Moisture Sensor Using a Micro-strip

- Antenna, Journal of Sensors, 査読有, Vol. 2011, 2011, Article ID 827969.
- ④ 岩淵勇樹, 秋田純一, 北川章夫, 閉曲線を利用した音色の操作法, 芸術科学会論文誌, 査読有, Vol.10, No.3, 2011, pp.157-166.
- ⑤ Akio Kitagawa, Electron Spin Resonance Measurement with Microinductor on Chip, Journal of Sensors, 査読有, Vol. 2011, 2011, Article ID 813636.
- ⑥ Akio Kitagawa, Design and Characterization of Nano-Displacement Sensor with High-Frequency Oscillators, Journal of Sensors, 査読有, Vol. 2011, 2011, Article ID 360173.
- ⑦ J. Akita, Y. Maeda, A. Kitagawa, Design and Preliminary Evaluation of CMOS Image Sensor with Pseudorandom Pixel Placement, Proc. of 2011 International Image Sensor Workshop, 査読有, 2011, pp.118-121.

[学会発表] (計 7 件)

- ① 伊部泰貴, 中山和也, 北川章夫, 電圧センスアンプを用いた ReRAM の多値化のための読み出し・書き込み回路, 信学技報, vol. 112, no. 425, ICD2012-126, pp. 45-49, 2013年2月1日, 早稲田大学 (東京都)
- ② 河合一樹, 北川章夫, ラジカルセンサの提案と回路実装に関する検討, 電気学会、マイクロマシン・センサシステム研究会 2012, pp.83-86, 2012年6月11日, 京都大学 (京都府)
- ③ 半田貴也, 中山和也, 北川章夫, 秋田純一, "ReRAM の多重書き込み自動回避回路を用いた消費電力削減技術", 信学技報, vol.111, no.188, ICD2011-48, pp.53-57, 2011年8月25日, 富山県民会館 (富山県)
- ④ 木村俊介, 北川章夫, 秋田純一, "RF-CMOS 技術を用いたラジカルセンサ LSI の開発-ESR 検出回路の感度解析-", 信学技報, vol.111, no.151, ICD2011-24, pp.31-35, 2011年7月21日, 広島工業大学 (広島県)
- ⑤ 河合一樹, 北川章夫, 秋田純一, "ラジカルセンサ LSI の高感度化の研究", LSI とシステムのワークショップ 2011, pp.251-253, 2011年5月16日, 北九州国際会議場 (福岡県)
- ⑥ 水井彩香, 北川章夫, 「ピンホールによる分光を利用したスペクトラム分析イメージセンサ」, 映像情報メディア学会報告, Vol.35, No.19, pp.41-43, 2011年

- 5月27日, 東京理科大学 (東京都)
- ⑦ 北川章夫, "センサ LSI の開発動向", 電気学会、次世代センサ協議会合同センサ研究会, 招待講演, J-H006, pp.3-9, 2011年12月12日, IT ビジネスプラザ武蔵 (石川県)

[産業財産権]  
○出願状況 (計 2 件)

名称: 抵抗変化型不揮発性記憶素子の書き込み回路  
発明者: 中山和也, 北川章夫, 半田貴也, 吉本裕平  
権利者: 金沢大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2011-178591  
出願年月日: 2011年8月17日  
国内外の別: 国内

名称: スペクトラムセンサ  
発明者: 北川章夫, 水井彩香  
権利者: 金沢大学  
種類: 特許  
番号: 特願 2011-118526  
出願年月日: 2011年5月26日  
国内外の別: 国内

[その他]  
ホームページ等  
<http://merl.ec.t.kanazawa-u.ac.jp/>

6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
北川章夫 (KITAGAWA AKIO)  
金沢大学・電子情報学系・教授  
研究者番号: 10214785