

平成 21 年 6 月 26 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19510132
 研究課題名（和文） 空間信号処理機能を有した非冷却赤外線アレイセンサの高性能化に関する研究
 研究課題名（英文） Improvement of infrared array sensors with analog image processing functions
 研究代表者
 木股 雅章（KIMATA MASAFUMI）
 立命館大学・理工学部・教授
 研究者番号：60388121

研究成果の概要：熱型赤外線検出器を集積し、画素間の信号をアナログ信号処理する機能を持った非冷却赤外線アレイセンサの感度向上を目的として、マイクロレンズ付赤外線センサを実現するデバイス構造を提案するとともに、赤外線マイクロレンズの設計手法を確立した。提案したデバイス構造を実現する製造プロセスを開発し、5×5画素マイクロレンズ付非冷却赤外線アレイセンサを試作した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：複合新領域

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：赤外線材料・素子、マイクロ・ナノデバイス、マイクロマシン、電子デバイス

1. 研究開始当初の背景

本研究が対象にする室温付近の物体が放射する赤外線を捕らえる赤外線アレイセンサは、「安全・安心」に寄与するキーデバイスと期待されている。

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術の適用により、冷却不要の熱型赤外線検出器を集積化した非冷却赤外線アレイセンサの性能が大きく改善された。非冷却赤外線アレイセンサは、赤外線カメラの低コスト化、小型化、低消費電力化、長寿命化に寄与し、自動車搭載歩行者検知システムなど新しい分野への赤外線技術の拡大を可能にした。しかし、研究開発の方向は依然として高解像度化に向いていて、普及が進んでいない。

こうした状況を改善に向けて、アナログ信号処理機能により2次元赤外線画像から特定

の特徴量を抽出することができる空間信号処理機能を有した非冷却赤外線アレイセンサの開発が進められている。空間信号処理機能を有した非冷却赤外線アレイセンサの機能は既に確認されているが、実用化に向けた、さらなる画素サイズの縮小、非真空低コスト実装デバイスへの要求が強い。

こうした要求を満たすために、可視光イメージセンサで一般的になっているマイクロレンズが有効と考えられるが、赤外線領域でアレイセンサに対してマイクロレンズを適用した例はない。

2. 研究の目的

本研究の目的は以下2点である。

(1)非冷却赤外線アレイセンサの高感度化を実現する技術として期待できる赤外線マイ

クレンズに関する設計基盤技術を確立すること。

(2) 赤外線マイクロレンズを付加した画素構造を提案し、その設計手法と製造プロセスを開発すること。

3. 研究の方法

研究開発は以下の手順で進めた。

(1) マイクロレンズ付赤外線アレイセンサの最適構造検討

非冷却赤外線アレイセンサの画素構造に付加することができる赤外線マイクロレンズとして、裏面入射方式、ハイブリッド表面入射方式、モノリシック表面入射方式の3方式について検討し、赤外線マイクロレンズとして最適構造を提案する。

(2) 赤外線マイクロレンズ設計手法の確立

光学シミュレーションソフト CODE V を用いて、画素内に入射した光が、どの程度赤外線吸収層で吸収されるかをシミュレーションすることで、赤外線アレイセンサ画素、赤外線マイクロレンズの最適設計パラメータを決定する手法を確立する。この手法を用いて、サイズ 500 μm 角程度の画素に装着する赤外線マイクロレンズを設計する。

(3) マイクロレンズ付赤外線アレイセンサ作製プロセスの開発

赤外線マイクロレンズの効果を確認するためのマイクロレンズ付赤外線アレイセンサの作製プロセスフローを設計し、これに必要なプロセス要素技術を立命館大学マイクロシステムセンターの設備を使って開発する。

(4) マイクロレンズ付赤外線アレイセンサの試作

5 \times 5画素のサーモパイル方式非冷却赤外線アレイセンサとこれに装着する赤外線マイクロレンズアレイを試作し、(3)で開発したプロセスフローでマイクロレンズ付赤外線アレイセンサが作製できることを検証し、マイクロレンズの効果を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 赤外線マイクロレンズとして、裏面入射方式、ハイブリッド表面入射方式、モノリシック表面入射方式の3方式について検討を行った。この検討では、性能面だけでなく、現状利用できる技術、生産性も考慮した。その結果、シリコン・シリコンの常温接合装置が最近実用化されたことを考慮して、図1のようなハイブリッド表面入射方式が現状では最適な方式であると結論した。図では、構造が分かりやすくなるよう、レンズアレイの支持脚がレンズと別構造になるように描いているが、実際には、支持脚とマイクロレン

ズはシリコン基板を一体成形することで作製し、これを非冷却赤外線アレイセンサに常温接合することでマイクロレンズ付赤外線アレイセンサの実現する構造とした。

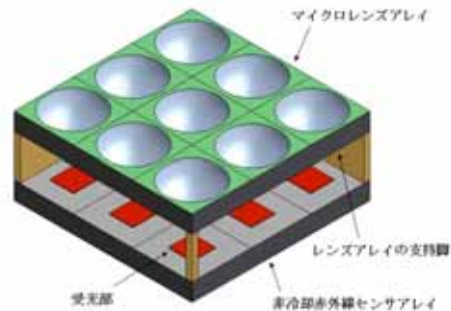


図1 マイクロレンズ付赤外線アレイセンサの構造。

(2) 光学シミュレーションソフト CODE V を用いてレンズ設計を行った。レンズは製造可能な形状として球面凸平レンズとした。このタイプのレンズでは、設計上可変なパラメータは、図2に示すように、レンズ曲率、レンズ中心厚さ、レンズ脚部長さ(レンズ後端からセンサ面までの距離)になる。今回は、画素を 500 μm 角とし、この中に 100 μm 角の受光部を設けると仮定し、レンズの集光能力を調べた。図3にシミュレーション結果の一例を示す。この結果は、マイクロレンズの口径を 340 μm 、焦点距離を 560 μm 、レンズ中心厚さを 450 μm としたとき、レンズに入射した赤外線(レンズによる反射は考えない)のうちどれだけエネルギーが直径 100 μm の円内に入るかを示したグラフである。横軸は、レンズ脚部の長さであるが、この設計では入射した赤外線のうち最大 98%のエネルギーを集めることができ、レンズの脚部の長さが多少変動しても集光効率は大きく変化しないことが分かる。



図2 マイクロレンズの設計パラメータ。

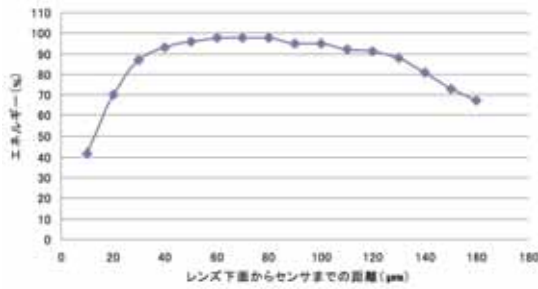


図3 CODE V によるシミュレーション例 .

(3)図4にプロセスフローを示す。マイクロレンズと赤外線センサはウエハ状態で常温接合を行い、ダイシング後、マイクロマシニングを実施するプロセスとした。このフローの中で、支持脚構造の形成、ダイシング、XeF₂エッチング前処理について事前に条件だしを行った。

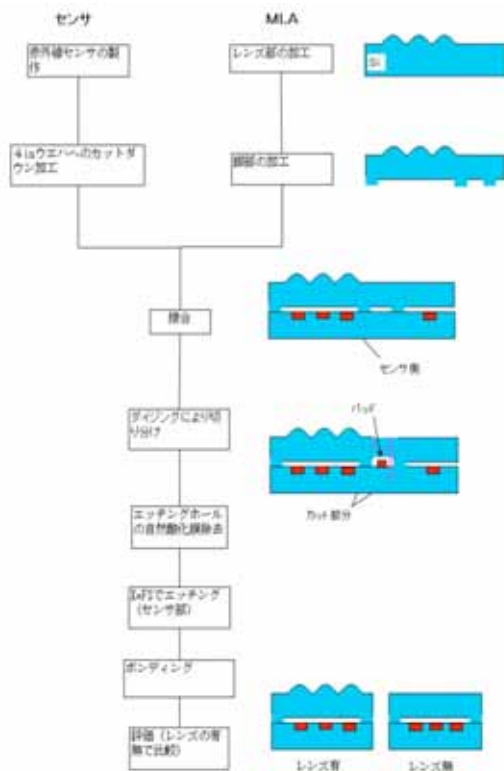


図4 マイクロレンズ付赤外線アレイセンサ作製プロセスフロー .

(4)5×5画素のサーモパイル方式非冷却赤外線アレイセンサとこれに装着する7×7のマイクロレンズアレイを設計した。マイクロレンズアレイの周囲1列は、ダミーである。マイクロレンズアレイの加工方法としては、いろいろな方法が考えられるが、今回設計したマイクロレンズは、加工深さが深い形状となったので、加工方法としては、この構造のシリコン加工を確実にできる機械研削加工を採

用した。図5に作製したシリコンマイクロレンズの外観を示す。図6は、試作したサーモパイル方式非冷却赤外線アレイセンサの外観である。4つの鍵型の領域にシリコンマイクロレンズの支持脚を接合してマイクロレンズ付赤外線アレイセンサを構成する。ボンディングパッドは、マイクロレンズアレイを赤外線アレイセンサ上に載せた状態でワイヤボンディングできるように配置している。

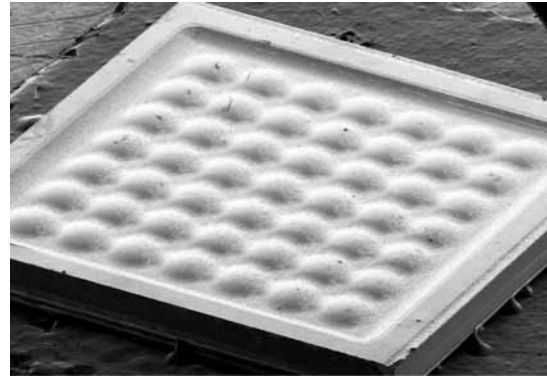


図5 シリコンマイクロレンズの外観 .

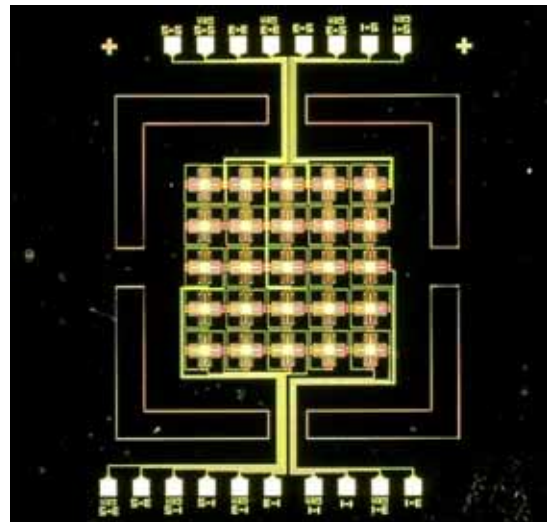


図6 サーモパイル方式非冷却赤外線アレイセンサの外観 .

(5)マイクロレンズアレイとサーモパイル方式赤外線アレイセンサを図4のプロセスに基づいて接合するマイクロレンズ付赤外線アレイセンサの試作を行った。工程中、マイクロレンズアレイの裏面(センサに対向する面)のあれが発生し、現在のところ光学性能の確認には至っていない。現在、シリコン裏面のエッチング工程を、ドライエッチングからより平坦な面が得られるウエットエッチングに変更し、再試作を行っている。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 12 件)

木股雅章、加納崇司、河村将之、浅井仁志、伊藤拓也、徳田貴之、高畑晶弘、森棟真幸、楠原英昭、島田佳玄、吉田昌史、赤外線位置センサ、第8回防災・情報システムシンポジウム「防災と安全のための複合大規模センサシステムおよびロバストネットワークの構築」論文集、pp. 111-117、2009、査読無

木股雅章、赤外イメージング、OPTORONICS、No. 10 (No. 322)、pp. 160-165、2008、査読無

Akihiro Takahata, Yoshiharu Shimada, Fumio Yoshioka, Ikuo Yamamoto, Masashi Yoshida, Masafumi Kimata, Takashi Kano, Improved Infrared Position Sensitive Detector, Proceedings of the 25th Sensor Symposium on Sensors, Micromachies, and Applied Systems, pp. 334-338, 2008, 査読無

木股雅章、MEMS非冷却赤外線イメージセンサ、OPTORONICS、No. 7 (No. 319)、pp. 147-152、2008、査読無
Akihiro Takahata, Yoshiharu Shimada, Fumio Yoshioka, Masashi Yoshida, Masafumi Kimata, Takashi Ota, Infrared Position Sensitive Detector (IRPSD), Proceedings of SPIE, Vol. 6940, pp. 694031-1-694031-11, 2008, 査読無

Masafumi Kimata, Progress in Uncooled Infrared Focal Plane Arrays, Proceedings of the 9th Takayanagi Kenjiro Memorial Symposium and the 4th International Symposium on Nanovision Systems, pp. 16-20, 2007, 査読無

木股雅章、見えないものを視る、パーティリリティ学会誌、Vol. 12, No. 3, pp. 32-36、2007、査読無

木股雅章、非冷却赤外線アレイセンサ、ケミカルエンジニアリング、Vol. 52, No. 10, pp. 48(790)-54(796)、2007、査読無

Syo Sasaki, Tomonori Seki, Toshiyuki Toriyama, Takaya Miyano, Masafumi Kimata, Susumu Sugiyama, SNA-MEMS - Batteryless-Wireless Sensing Module Utilizing RFOD System, Proceedings of the 24th Sensor Symposium on Sensors, Micromachines, and Applied Systems, pp. 433-436, 2007, 査読無

Munehisa Takeda, Hisatoshi Hata, Yoshiyuki Nakaki, Yasuhiro,

Kosabayama, and Masafumi Kimata, Chip Scale Vacuum Packaging for Uncooled IRFPA, 電気学会論文誌 A (IEEJ Trans. FM,), Vol. 127, No. 7, pp. 405-410, 2007, 査読有

木股雅章、浅地伸洋、太田喬、高畑晶弘、島田佳玄、吉岡文雄、吉田昌史、Infrared Position Sensitive Detector (IRPSD)、電気学会研究会資料(フィジカルセンサ研究会) pp. 69-74、2007、査読無
Masafumi Kimata, MEMS-based Uncooled Infrared Focal Plane Arrays, Proceedings of Transducers '07 & Eurosensors XXI, pp. 1357-1360, 2007, 査読無

[学会発表](計 13 件)

Masafumi Kimata, Takashi Kano, Masashi Asai, Akihiro Takahata, Masayuki Morinune, Hideaki Kusuhara, Yoshiharu Shimada, Fumio Yoshioka, Ikuo Yamamoto, and Masashi Yoshida, Development of Infrared Position Sensitive Detector, Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS), 2009.3.26, 北京(中国)

木股雅章、赤外線アレイセンサ、フォトリクス技術フォーラム合同研究会(第3回光情報技術研究会、第2回次世代光学素子研究会)、2008.12.12、大阪

Akihiro Takahata, Yoshiharu Shimada, Fumio Yoshioka, Ikuo Yamamoto, Masashi Yoshida, Masafumi Kimata, Takashi Kano, Improved Infrared Position Sensitive Detector, 電気学会第25回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 2008.10.23, 沖縄

Akihiro Takahata, Yoshiharu Shimada, Fumio Yoshioka, Masashi Yoshida, Masafumi Kimata, Takashi Ota, Infrared Position Sensitive Detector (IRPSD), SPIE Defense and Security, Conference on Infrared Technology and Applications XXXIV, 2008.3.20, オランダ(米国)

Munetaka Ueno, Takehiko Satoh, Kazunori Uemizu, Takeshi Imamura, Masato Nakamura, Naomoto Iwagami, Hirofumi Yagi, Makoto Kawai, Masashi Ueno, Munehisa Takeda, Masafumi Kimata, IR2 Camera on board PLANET-C Mission, SPIE Defense and Security, Conference on Infrared Technology and Applications XXXIV, 2008.3.20, オランダ(米国)

Masafumi Kimata, MEMS-based Infrared

Imaging Technology, The 5th International Forum on Sensing and Control Technology, 2007.11.2, 上海 (中国)

Masafumi Kimata, Progress in Uncooled Infrared Focal Plane Arrays, The 9th Takayanagi Kenjiro Memorial Symposium and The 4th International Symposium on Nanovision Systems, 2007.10.29, 浜松

木股雅章、MEMS 技術による非冷却赤外線イメージセンサ、2007 年度ナノマシンシステム技術研究会バイオ・メディカル分科会セミナー/立命館大学・早稲田大学 MEMS・ナノバイオ交流研究会、2007.10.26、草津

Syo Sasaki, Tomonori Seki, Toshiyuki Toriyama, Takaya Miyano, Masafumi Kimata, Susumu Sugiyama, SNA-MEMS - Batteryless-Wireless Sensing Module Utilizing RFOD System, 電気学会第 24 回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム, 2007.10.17, 東京

木股雅章、浅地伸洋、太田喬、高畑晶弘、島田佳玄、吉岡文雄、吉田昌史、Infrared Position Sensitive Detector (IRPSD)、電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会、2007.7.2、筑波

Masafumi Kimata, MEMS-based Uncooled Infrared Focal Plane Arrays, Transducers '07 & Eurosensors XXI, 2007.6.13, リヨン(フランス)

木股雅章、MEMS 技術を用いた非冷却赤外線センサの開発、立命館大学ナノマシンシステム技術研究会「マイクロ・ナノシステム基盤技術分科会」、2007.4.25、草津

Masafumi Kimata, Uncooled Infrared Focal Plane Arrays, 2007 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai(IMFEDK), 2007.4.24, 大阪

〔図書〕(計 4 件)

木股雅章、シーエムシー出版、自動車用センサの最新動向、2009、pp. 67-79

木股雅章、培風館、2008、次世代センサハンドブック、pp. 45-61

Masafumi Kimata, ELSEVIER, 2008、Comprehensive Microsystems, Vol. 3, pp. 113-163), ELSEVIER

木股雅章、オーム社、2008、薄膜ハンドブック、pp. 932-935 および pp. 1100-1101)、オーム社

〔産業財産権〕

出願状況(計 5 件)

名称:赤外線撮像素子およびその製造方法

発明者:木股雅章

権利者:立命館大学

種類:特許

番号:009-045402

出願年月日:2009.2.27

国内外の別:国内

名称:赤外線撮像素子およびその製造方法

発明者:岡田遼、木股雅章

権利者:住友電気工業株式会社

種類:特許

番号:2008-206772

出願年月日:2008.8.11

国内外の別:国内

名称:熱出方式赤外線センサ

発明者:木股雅章、高畑晶弘

権利者:立命館大学、コーデンシ株式会社

種類:特許

番号:2008-021828

出願年月日:2008.1.31

国内外の別:国内

名称:マイクロ真空計

発明者:木股雅章

権利者:立命館大学

種類:特許

番号:2008-021826

出願年月日:2008.1.31

国内外の別:国内

名称:赤外線アレイセンサ

発明者:木股雅章

権利者:立命館大学

種類:特許

番号:PCT/JP2007/059457

出願年月日:2007.5.7

国内外の別:国外

取得状況(計 2 件)

名称:赤外線固体撮像素子

発明者:武田宗久、中木義幸、木股雅章

権利者:三菱電機株式会社

種類:特許

番号:3987379、

登録年月日:2007.7.20

国内外の別:国内

名称:赤外線固体撮像素子

発明者:木股雅章

権利者:三菱電機株式会社

種類:特許

番号:4011851

登録年月日:2007.9.14

国内外の別:国内

(1)研究代表者

木股 雅章 (KIMATA MASAFUMI)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：60388121