

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 12 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21510128

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機能化に関する研究

研究課題名（英文） Integration of CMOS circuits into 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（和文）：熱源の 2 次元空間における位置情報を得ることができる非冷却赤外線アレイセンサに使用するチョッピング差動電流積分増幅器と重心検出信号処理回路を設計、試作し、性能を評価した。また、これらの回路を集積化した 6 × 6 画素非冷却赤外線アレイセンサを設計した。チョッピング差動電流積分増幅器は、微小なサーモパイル出力を増幅するためのものであり、重心検出信号処理回路はサーモパイルアレイの行、列の出力の重心位置に応じた出力信号を発生し、熱源位置特定を可能にするものである。

研究成果の概要（英文）：We developed a 6×6-element thermopile array sensor that has a position detection capability of a hot object and integrates high-gain chopping differential current integration amplifiers and waited-center detection circuits for the position detection operation. The infrared array sensor can be made in standard CMOS LSI manufacturing facilities.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：マイクロ・ナノデバイス

キーワード：赤外材料・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

非冷却赤外線イメージセンサの実用化により、赤外線カメラの価格は大きく低減され、小型化、低消費電力化、長寿命化が実現された。この結果、赤外線イメージング技術は、冷却赤外線イメージセンサでは不可能であった自動車搭載歩行者検知システムなどに活躍の場を広げている。しかし、研究開発の方向は依然として高性能化に向いており、低価格は期待されてようには進んでいない。この原

因は、ローエンドの用途にあった赤外線センサの開発が行われていないことである。こうした状況を踏まえ、これまで科学研究費補助金を得て、低コストで製造可能な新しい非冷却赤外線アレイセンサの研究開発を進めてきた。この非冷却赤外線アレイセンサは、検出器からのアナログ信号を独自のアレイ構成により処理することで、行方向、列方向の重心検出を行う空間画像処理機能を有したものであり、これまでにサーモパイル方式の赤外線

アレイセンサを試作し機能確認するとともに、高感度化を図ってきた。しかし、これまでの研究開発で、実用化には、出力数の削減と増幅回路の内蔵が必須であることが判明していた。

2. 研究の目的

本研究では、これまで科学研究費補助金を受けて開発を進めてきた空間画像処理機能を有した非冷却赤外線アレイセンサの構成に、行および列にアナログ信号処理機能を付加することで、出力数を減らし、行と列それぞれ2つの出力端子に流れ込む電流の差を計測することで、発熱体の位置特定を可能にすることを目的としている。この目的を達成するために、以下の2つの回路を開発する。

- (1) 熱電型赤外線検出器の微小出力を、安定して大きな利得で増幅できるオンチップ増幅器
- (2) アレイ規模が増大しても素子からの出力数が変化しないオンチップアナログ信号処理回路

3. 研究の方法

今回考案した方式を図1に示す。この方式では、これまでの非冷却赤外線アレイセンサの各出力端に新たに開発する高利得増幅器を配置し、増幅器の出力を重心検出回路に入力する。重心検出信号処理回路は、抵抗とMOSトランジスタで構成され、2つの出力端子に流れ込む電流の差により重心を検出する。

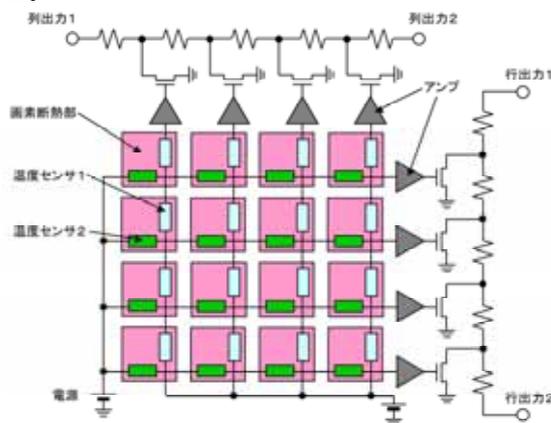


図1 開発するアレイセンサの構成

研究開発は、個別回路要素の設計と TEG (Test Element Group) 試作・評価、サーモパイル赤外線検出器との集積化プロセス検討、最終構成の非冷却赤外線アレイセンサの試作・評価、というステップを進めた。

4. 研究成果

(1) 重心検出信号処理回路

図2に試作した重心検出回路 TEG の顕微鏡写真を示す。この TEG は、赤外線検出器か

らの信号に代わり外部から電気信号入力を与えられるように設計されている。

図3にこの回路の特性を示す。この結果が、重心検出信号処理回路の特定の入力に信号を与えた場合の、入力電圧と2つの出力に流れ込む電流の差を測定した結果である。図3の結果は、重心検出信号処理回路の入力位置により、得られる電流差が決まっていることを示しており、この回路で重心検出が可能であることが分かった。

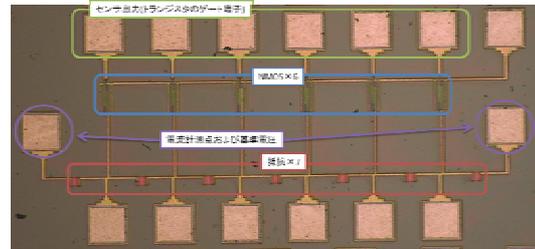


図3 重心検出信号処理回路 TEG

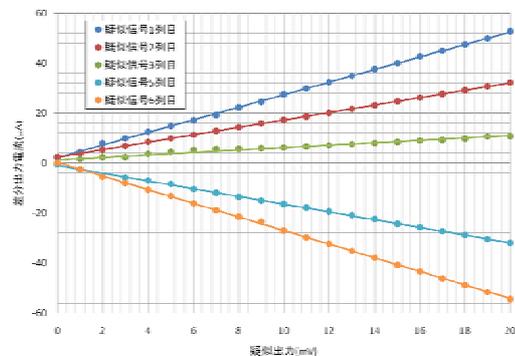


図4 重心検出信号処理回路の評価結果

(2) 差動電流積分増幅回路

増幅回路に関しては、高い利得が必要であること、高い入力インピーダンスが必要であることと、周波数特性としては広い帯域を必要としないことを考慮して、積分時間で利得を制御できる差動電流積分増幅回路を開発した。図5に差動電流積分増幅回路の回路図を、図6に試作した TEG を示す。この回路の利得は、入力トランジスタの相互コンダクタンスと積分コンデンサの容量および積分時間で決まり、高い利得でも安定した動作が実現できる。

この回路の特性は、図7に示すように、出力が 1V_{p-p} 以上の範囲で良好なリニアリティが得られており、積分時間を増大すると、比例して利得が大きくなっていることが分かる。

しかし、試作した回路では利得が積分時間に対し飽和傾向を示し、現状回路では200倍程度が限界であった。この結果を解析したところ、利得の飽和現象はチャンネル長変調が原因である可能性が高いことが分かった。これを確かめるため、長いチャンネル長のトランジ

スタを使用した回路のシミュレーションを実施したところ、利得を大きく改善できることを確認した。図8に、チャンネル長を5倍にした場合の改善効果を示す。

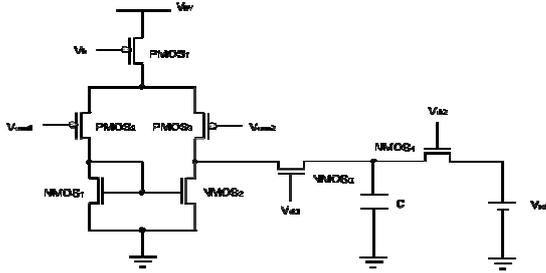


図5 差動電流積分増幅回路

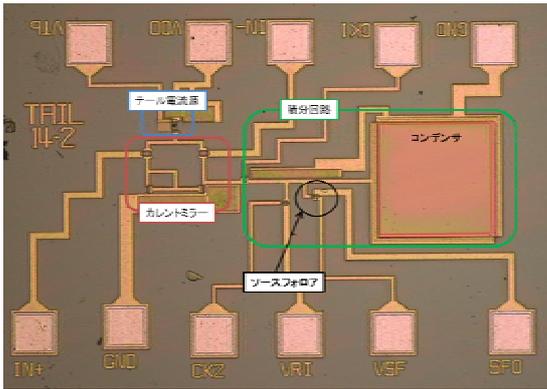


図6 差動電流積分増幅回路 TEG

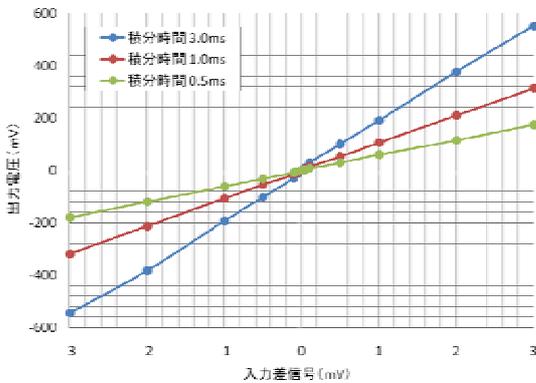


図7 差動電流積分増幅回路 TEG の評価結果

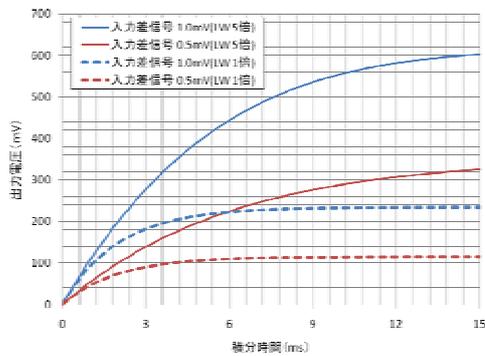


図8 チャンネル長変調抑制による利得増大

高い利得の増幅器では、オフセットとドリフトが問題になる。本研究で開発した差動電流積分増幅回路でも同様にオフセットとドリフトが問題になるので、その対策を検討した。図9は対策を施した回路図である。この回路は、SWで示したスイッチを切り替えることで、差動を構成するトランジスタの働きを切り替え、オフセットとドリフトを低減するように設計されたチョッピング差動電流積分増幅回路となっている。

図10は、この回路の動作をシミュレーションした結果で、の結果から、オフセット電圧を付加した場合でも、オフセット電圧のない理想的な差動電流積分増幅回路と同じような出力が得られ、チョッピング動作で効果的にオフセットが抑圧されていることが分かる。

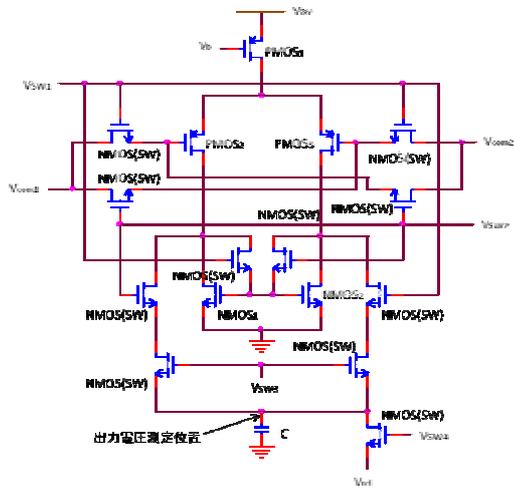


図9 チョッピング差動電流積分増幅回路

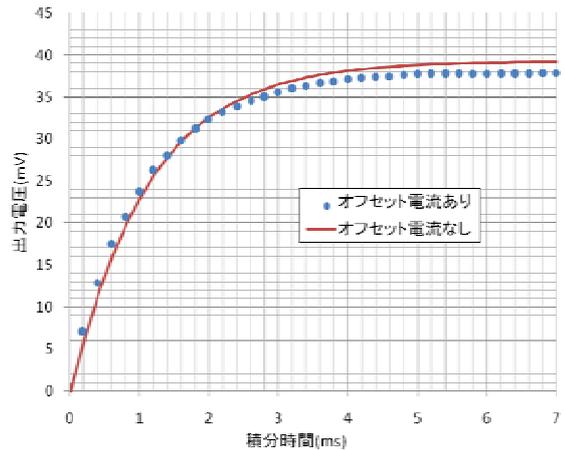


図10 チョッピング差動電流積分増幅回路の動作

(3) 非冷却赤外線アレイセンサの設計
 チョッピング差動電流積分増幅回路と重心検出信号処理回路を集積化した6×6画素

非冷却赤外線アレイセンサの設計を行った。図 1 1 に設計した非冷却赤外線アレイセンサのマスキレイアウト図を示す。このアレイセンサは、各行と各列の和の重心検出することで、2次元空間における熱源の位置を特定する機能を有している。画素は、p型ポリシリコンとn型ポリシリコンからなるサーモパイルを使用した熱型検出器で構成されており、画素サイズは $300\ \mu\text{m} \times 300\ \mu\text{m}$ である。

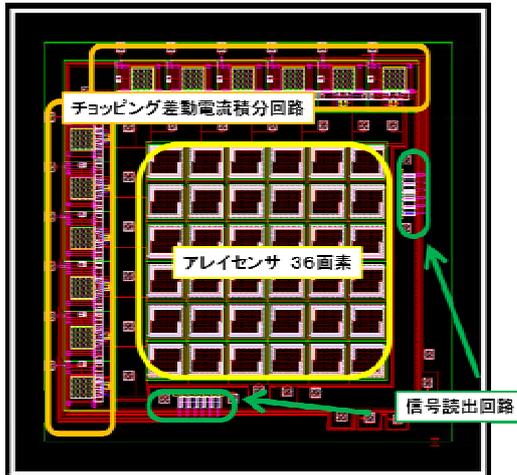


図 1 1 6×6 画素周辺回路内蔵非冷却赤外線アレイセンサのマスキレイアウト

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 12 件)

著書名: 塩川裕也、仲野達也、前田直樹、木股雅章、高畑晶弘、論文標題: 大気中で動作する赤外線センサ画素の熱設計、雑誌名: 電気学会論文誌E、査読: 有、巻: 132、発行年: 2011、ページ: 53 - 57

著書名: 山崎陵、尾花陽光、木股雅章、論文標題: マイクロレンズ付非冷却赤外線アレイセンサ、雑誌名: 電気学会論文誌E、査読: 有、巻: 132、発行年: 2011、ページ: 42 - 47

著書名: Shinpei Ogaw, Kazuya Okada, Naoki Fukushima, and Masafumi Kimata、論文標題: Wavelength selective uncooled IR sensor by Plasmonics、雑誌名: Applied Physics Letters、査読: 有、巻: 100、発行年: 2011、ページ: 1111-1 - 4

著書名: Takuya Ito, Takayuki Tokuda, Masafumi Kimata, Hideyuki Abe, and Naotaka Tokashiki、論文標題: Vacuum Packaging Technology for Mass Production of Uncooled IRFPAs、雑誌名: Proceedings of SPIE、査読: 無、発行年: 2009、ページ: 72982A-1-72982A-10

著書名: 松村剛至、徳田貴之、土永明延、木股雅章、阿部英之、渡嘉敷直隆、論文標題: 赤外線センサのための真空パッケージング技術、雑誌名: 電気学会論文誌E、査読: 有、巻: 130、発行年: 2009、ページ: 212-218

著書名: Masafumi Kimata, Takayuki Tokuda, Akinobu Tsuchinaga, Takeshi Matsumura, Hideyuki Abe, Naotaka Tokashiki、論文標題: Vacuum Packaging Technology for Uncooled Infrared Sensor、雑誌名: 日本電気学会英文誌、査読: 有、巻: 5、発行年: 2009、ページ: 175-180

著書名: 高畑晶弘、吉田昌史、河村将之、渡邊光規臣、木股雅章、論文標題: Infrared Position Sensitive Detector (IRPSD) の高感度化、雑誌名: 日本赤外線学会誌、査読: 有、巻: 18、発行年: 2009、ページ: 215-220

著書名: Akihiro Takahata, Yoshiharu Shimada, Fumio Yoshioka, Ikuo Yamamoto, Masashi Yoshida, Masafumi Kimata, Takashi Kano、論文標題: Improved Infrared Position Sensitive Detector、雑誌名: 電気学会論文誌E、査読: 有、巻: 129、発行年: 2009、ページ: 215-220

〔学会発表〕(計 27 件)

発表者名: 小川新平、福島直樹、菰田潤哉、増田恭平、木股雅章、発表標題: プラズモニク構造による検知波長選択型非冷却赤外線センサ、学会名等: 第59回応用物理学関係連合講演会、発表年月日: 2012年3月16日、発表場所: 早稲田大学(東京都)

発表者名: 美藤邦彦、川崎聡史、木股雅章、室岡純平、内藤聖貴、片山晴善、佐藤亮太、Mikhail Patrashin、竇迫巖、井須俊郎、北田貴弘、発表標題: GaSb/InAs Type-II超格子赤外線センサの開発、学会名等: 第9回赤外放射の応用関連学会年会、発表年月日: 2012年2月7日、発表場所: 東京工科大学蒲田キャンパス(東京都)

発表者名: 塩川裕也、仲野達也、前田直樹、木股雅章、高畑晶弘、発表標題: 大気中で動作する赤外線センサ画素の熱設計、学会名等: 第28回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム、発表年月日: 2011年9月28日、発表場所: タワーホール船堀(東京都)

発表者名: 山崎陵、尾花陽光、木股雅章、発表標題: マイクロレンズ付非冷却赤外線アレイセンサ、学会名等: 第28回「センサ・マイクロマシンと応用システム」

シンポジウム、発表年月日：2011年9月27日、発表場所：タワーホール船堀（東京都）

発表者名：Masafumi Kimata、発表標題：Infrared sensor development in Japan（招待講演）、学会名等：International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2011 (ISPD1 2011)、発表年月日：2011年5月25日、発表場所：北京（中国）

発表者名：木股雅章、発表標題：赤外線センサの開発動向（招待講演）、学会名等：第8回赤外放射の応用関連学会年会、発表年月日：2011年2月10日、発表場所：島津製作所東京支店（東京都）

発表者名：Masafumi Kimata、発表標題：Infrared Imaging for Security and Safety（招待講演）、学会名等：2010 International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai、発表年月日：2010年5月14日、発表場所：関西大学100周年記念会館（大阪府）

発表者名：大平真琴、小山雄高、相田富実二、佐々木昌、大場正利、高畑智之、下山勲、木股雅章、発表標題：赤外線アレイセンサー用マイクロミラーアレイの作製と評価、学会名等：第26回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム、発表年月日：2009年10月15日、発表場所：タワーホール船堀（東京都）

発表者名：松村剛至、徳田貴之、土永明延、木股雅章、阿部英之、渡嘉敷直隆、発表標題：赤外線センサのための真空パッケージング技術、学会名等：第26回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム、発表年月日：2009年10月15日、発表場所：タワーホール船堀（東京都）

発表者名：徳田貴之、土永明延、松村剛至、木股雅章、阿部英之、渡嘉敷直隆、発表標題：赤外線センサ用真空パッケージング技術、学会名等：電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会、発表年月日：2009年7月23日、発表場所：八王子（東京都）

発表者名：Masafumi Kimata、発表標題：Advances in Uncooled Infrared Focal Plane Arrays（招待講演）、学会名等：The Third International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging (ISPD1 2009)、発表年月日：2009年6月18日、発表場所：北京（中国）

発表者名：Takuya Ito, Takayuki Tokuda, Masafumi Kimata, Hideyuki Abe, and Naotaka Tokashiki、発表標題：Vacuum Packaging Technology for Mass

Production of Uncooled IRFPAs、学会名等：SPIE Defense and Security, Conference on Infrared Technology and Applications XXXII、発表年月日：2009年4月14日、発表場所：オランダ（米国）

〔図書〕（計1件）

著者名：木股雅章、出版社名：株式会社テクノシステム、書名：MEMS/NEMS 工学大全、発行年：2009年、ページ：621 - 630

〔産業財産権〕
出願状況（計3件）

名称：光センサ
発明者：高畑晶弘、木股雅章
権利者：コーデンシ株式会社、立命館大学
種類：特許
番号：特願 2009-283126

出願年月日：2009.12.14

国内外の別：国内

名称：光センサ
発明者：高畑晶弘、木股雅章
権利者：コーデンシ株式会社、立命館大学
種類：特許
番号：特願 2009-283127

出願年月日：2009.12.14

国内外の別：国内

名称：電子素子デバイスの製造方法
発明者：高畑晶弘、木股雅章
権利者：コーデンシ株式会社、立命館大学
種類：特許
番号：特願 2009-283128

出願年月日：2009.12.14

国内外の別：国内

取得状況（計0件）

〔その他〕
特記事項なし

6. 研究組織

(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

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし