



Projeto de Sensores Infravermelhos de Baixo Ruído e Alto *Dynamic Range* para Aplicações Militares

Adilson Carlos Batista¹ Lester de Abreu Faria¹

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

Resumo — Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um circuito integrado analógico projetado para condicionar sinais de corrente de baixa intensidade, como os provenientes de detectores a poços quânticos (QWIP), operando no espectro infravermelho. O circuito, denominado ROIC (*Readout Integrated Circuit*), foi projetado no software Cadence® Virtuoso®, contendo um espelho de corrente CM (*Current Mirror*), portas de passagem e um SFDI (*Source Follower Direct Inject*), apresentando consumo potência abaixo de 100nW . O mesmo o para com correntes de integração de 1 a 7 nA , possuindo modularidade e área reduzida, e sendo indicado para aplicações com matrizes de “pixel” de alta densidade. Se difere dos demais encontrados na literatura uma vez que proporciona a subtração da corrente de escuro, o fazendo por meio de um pixel referência a ser incorporado no FPA. Os resultados simulados denotam que a topologia proposta é eficaz em subtrair não só a componente de ruído (corrente de escuro) como ainda uma referência de background, aumentando o *dynamic range*.

I. INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta uma metodologia de leitura e condicionamento de sinal de matrizes de fotodetectores a poços quânticos (QWIP-FPA – *Quantum-Well Infrared Photodetector Focal Plane Array*), utilizando circuitos integrados a base de silício dedicados à subtração da corrente de escuro. As maiores vantagens dos QWIP residem na possibilidade de se operar em mais de uma banda no mesmo dispositivo eletrônico, bem como na alta repetitividade que proporcionam, permitindo a fabricação de câmeras de milhões de pixels [1].

Assim sendo uma arquitetura de ROIC é proposta para ler os sinais ativos do detector, bem como de um pixel de referência de corrente de escuro a ser implementado no FPA, subtraindo a parcela de corrente de escuro (ruído) da corrente total, integrando a diferença e mantendo boa linearidade. Como requisito de desenvolvimento, foi estipulado, ainda, que o ROIC tivesse baixo consumo de potência e baixa área ocupada.

II. CONCEITOS TEÓRICOS

QWIPs podem ser utilizados em substituição a sensores infravermelhos convencionais baseados em HgCdTe, na medida em que apresentam grande seletividade, capacidade multispectral e alta reprodutibilidade, possibilitando a confecção de matrizes de milhões de elementos sensíveis (pixels). Possuem ainda baixo consumo de potência, alta impedância, e resposta rápida. É um fotodetector de grande interesse no setor militar, mas também já se encontra disponível para aplicações civis, sendo projetado para detectar radiações infravermelha média (MWIR – *Middle Wavelength Infrared*) e longa (LWIR – *Long Wavelength Infrared*) [1].

A fim de se compreender a corrente de escuro, deve-se ter em mente que um fotodetector QWIP tem a propriedade de, mesmo na ausência de radiação incidente, emitir uma corrente. Tal corrente é gerada por três mecanismos principais: tunelamento ressonante sequencial (sequential resonant tunneling), o qual faz com que elétrons saltem de um poço a outro através das barreiras, independente da temperatura; tunelamento assistido térmico (*thermally assisted tunneling*), o qual é proveniente da excitação térmica e do posterior tunelamento por meio da extremidade superior do poço; e, finalmente, a emissão termiônica (thermionic emission), predominante em temperaturas mais altas (acima de 70K , aproximadamente)[1]. Esses três mecanismos determinam que a corrente de escuro seja inerente à física dos QWIP, devendo a mesmo ser cancelada para fins de melhorar o desempenho do conjunto como um todo, condicionando-se somente a fotocorrente.

Compreendidas as fontes de ruído, o QWIP e a corrente de escuro, passa-se então ao próximo conceito de um elemento sensor que é o ROIC. Este pode ser definido com um circuito integrado que tem como objetivo executar um conjunto de funções pré-estipuladas e adequadamente dimensionadas, sendo responsável por ler, condicionar e entregar, para um circuito externo, um sinal analógico oriundo de um arranjo de sensores. Dentre as topologias mais encontradas na literatura, e que se utilizam da tecnologia MOS, se destacam a Direct Injection (DI), Gate Modulation Injection (GMI), Buffered Direct Injection (BDI), Source Follower per Detector (SFD), Source Follower Direct-Inject (SFDI), Buffered Gate Modulation Input (BGMI), Switched Current Integration (SCI), Shared-Buffered Direct Injection (SBDI), Current Mirror Direct Inject (CMDI) e Capacitive Trans-Impedance Amplifier (CTIA) [1].

III. PROJETO DO CIRCUITO PROPOSTO

No caso presente, entende-se que a rejeição do sinal ruidoso, denominado corrente de escuro, é altamente desejável no condicionamento de sinal infravermelho. Assim, a topologia desenvolvida neste trabalho possui, no primeiro estágio, um espelho de corrente, dedicado à subtração em tempo real de uma referência de corrente de escuro, podendo também ser empregado para efetuar a subtração de uma referência de fundo, minimizando a possibilidade de saturação em certos regimes de operação. A integração e amostragem emprega um SFDI, atendendo aos principais requisitos de projeto, como baixo consumo de potência, linearidade e amostragem não destrutiva no domínio da tensão.

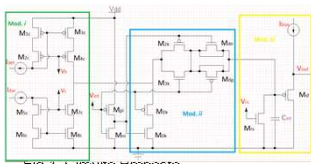


Fig. 1. Circuito Proposto.

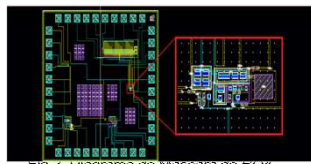


Fig. 2. Diagrama de máscara do ROIC.

O circuito desenvolvido e proposto é apresentado na Fig.2, estando subdividido em três módulos: i. módulo subtrator de ruído; ii. portas de passagem; e iii. integrador. A parte do circuito denominada como Mod. i, apresentada na Fig.1, consiste no módulo subtrator de ruído, responsável por efetuar a subtração da fotocorrente e corrente de escuro. Já a região chamada Mod. ii apresenta tanto a porta de passagem como o circuito de drenagem. Por fim, região do circuito denominada Mod.3 consiste no SFDI (Source Follower Direct-Injection), responsável por converter a corrente em tensão no capacitor de integração e disponibilizá-la para amostragem. O layout foi realizado no software Cadence e prototipado em uma rodada Multi-Wafer Project da IMEC. Pode-se visualizar tal leiaute, em diagrama de máscara, na imagem aumentada à direita na Fig.2.

IV. RESULTADOS

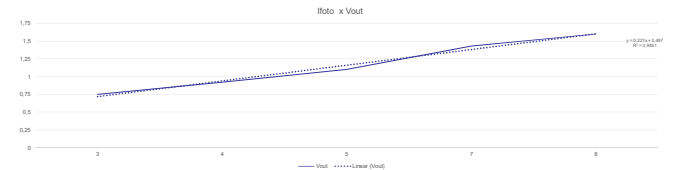


Fig.3. Ifoto[nA] vs. Vout [V].

A Fig. 3 apresenta no eixo X a corrente do fotodetector variando de 3 a 8 nano ampère em simulação distintas, com as respectivas tensões de saída do ROIC no eixo Y que variam de 0,6 a 1,6 volts. Verifica-se nesta curva, a capacidade do circuito operar com correntes da ordem de nano amperes com elevado grau de linearidade, acima de 98,5%. A corrente média fornecida pela fonte de alimentação e da corrente de polarização são respectivamente 30 e 25 nano ampères, para uma tensão de 1,8 Volts, resultando em um consumo de potência de aproximadamente 100 nano Watt.

V. CONCLUSÃO

O circuito proposto no presente artigo consiste em uma célula unitária, também denominado de ROIC, projetado para leitura e condicionamento de sinal de matriz de pixel para o QWIP operando na faixa de LWIR. Com apoio da IMEC por meio do programa *Free IC Fabrication mini@sic Program* para Universidades Brasileiras com tecnologia TSMC18 1.8 Volts, utilizando o software Cadence® Virtuoso®, demonstrou-se que o comportamento do circuito está de acordo com os conceitos teóricos abordados, atendendo ao principal requisito de projeto, a subtração da corrente de escuro, aumentando o *dynamic range* e mantendo a linearidade do circuito.

O circuito proposto tem um consumo de potência abaixo de 100nW , e uma linearidade acima dos 98,5%, operando com correntes de integração de 1 a 7 nA , possuindo modularidade e área reduzida, e sendo indicado para aplicações com matrizes de “pixel” com alta densidade. Se difere dos demais relatos encontrados na bibliografia uma vez que proporciona, de forma automática, a subtração da corrente de escuro presente na fotocorrente, o fazendo por meio de um pixel referência a ser incorporado no FPA. Proporciona, ainda, uma operação mais estável do fotodetector minimizando a integração nas capacidades parasitas, sendo capaz de não somente subtrair uma componente de ruído como também uma referência de background, aumentando o *dynamic range* do detector e permitindo uma maior banda de detecção para o dispositivo implementado.

REFERÊNCIAS

- Faria L. A. "PROPOSTA DE METODOLOGIA DE LEITURA E CONDICIONAMENTO DE SINAL DE MATRIZES FOTODETECTORES UTILIZANDO CIRCUITOS INTEGRADOS DEDICADOS A BASE DE SILÍCIO". data: 2010. Tese de mestrado- Curso de Engenharia Eletrônica e Computação – Área de dispositivos e sistemas eletrônicos – Instituto Tecnológico de Aeronáutica. FL, United States.
- Cohen, Marshall J. and. Olsen, Gregory H., "ROOM-TEMPERATURE INGAAS CAMERA FOR NIR IMAGING". Optical Engineering and Photonics in Aerospace Sensing, 1993, Orlando,