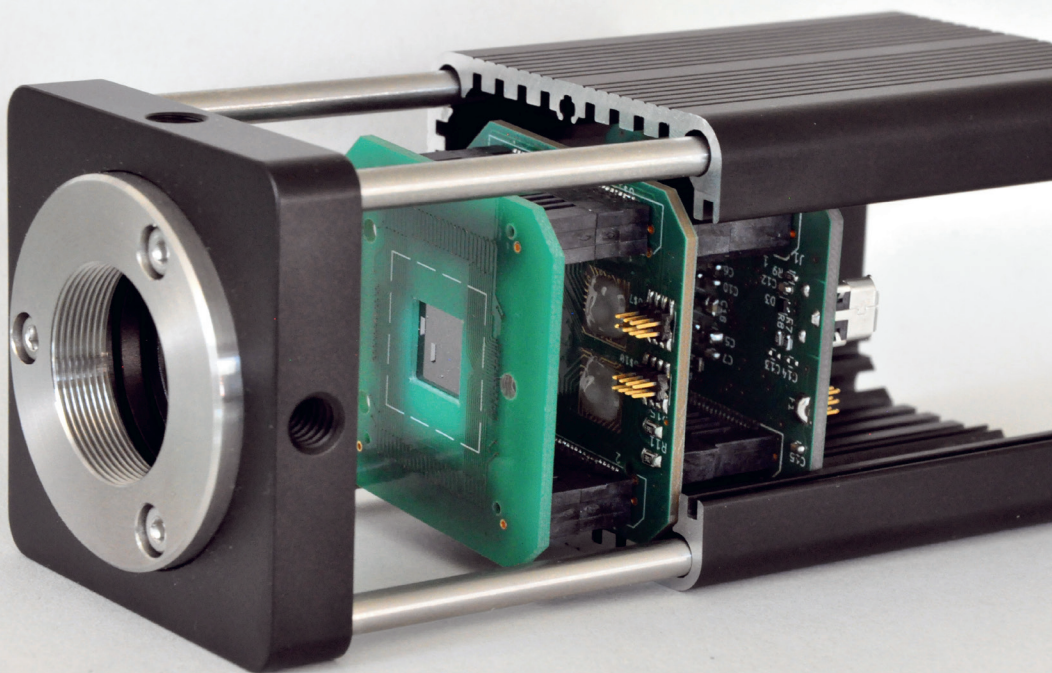


Nah-Infrarot Kamera auf Basis von Germanium Photodetektoren in CMOS-Technologie

Ann-Christin Köllner



Nah-Infrarot Kamera auf Basis von Germanium Photodetektoren in CMOS-Technologie

Von der Fakultät Informatik, Elektrotechnik und Informationstechnik
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde einer
Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Ann-Christin Köllner
aus Nürtingen

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Joachim N. Burghartz
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. habil. Jörg Schulze

Tag der mündlichen Prüfung: 19.06.2023

Institut für Nano- und Mikroelektronische Systeme
der Universität Stuttgart
2023

Berichte aus der Halbleitertechnik

Ann-Christin Köllner

**Nah-Infrarot Kamera auf Basis von Germanium
Photodetektoren in CMOS-Technologie**

Shaker Verlag
Düren 2023

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2023

D 93 (Diss. Universität Stuttgart)

Copyright Shaker Verlag 2023

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-9273-8

ISSN 0945-0785

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
1.1. Motivation	7
1.2. Zielsetzung	8
1.3. Beitrag der Arbeit	8
1.4. Gliederung der Arbeit	10
2. Grundlagen	11
2.1. Grundlagen einer Kamera	11
2.1.1. Bestandteile einer Digitalkamera	12
2.1.2. Funktionsprinzip einer Digitalkamera	12
2.2. Grundlagen eines Bildsensors	13
2.2.1. Elektrische Eigenschaften	15
2.2.2. Optische Eigenschaften	18
2.3. Grundsaltungen einer Ausleseschaltung	23
2.3.1. Schalter	23
2.3.2. Stromspiegel	24
2.3.3. Differenzverstärker	26
2.4. Zusammenfassung	29
3. Eignung von Germanium für NIR Kameras	31
3.1. NIR Detektormaterialien	31
3.2. Materialanalyse	33
3.3. Zusammenfassung	37
4. Evaluierung von Germanium pin Bildsensoren	39
4.1. Stand der Technik	39
4.2. Aufbau und Schichtfolge der Germanium pin Photodioden	41
4.3. Charakterisierung der Germanium Photodioden	43
4.3.1. Dunkelstromverhalten	44
4.3.2. Kleinsignalcharakteristiken	49
4.3.3. Photostrom und Signalbereich	52
4.3.4. Spektrale Empfindlichkeit	57
4.3.5. Detektivität	58
4.3.6. Temperatureinfluss	59
4.4. Anforderungen an das Auslesekonzept	62

4.5. Diskussion	63
4.6. Zusammenfassung	66
5. Analyse verschiedener Auslesekonzepte	67
5.1. Stand der Technik	67
5.2. Auswahl der Auslesetopologie	69
5.2.1. Kapazitiver Transimpedanzwandler (CTIA)	70
5.2.2. Gepufferte Gate Modulation (BGM)	72
5.2.3. Stromspiegel (CM)	72
5.3. Experimentelle Ergebnisse gemeinsamer Schaltungsblöcke	73
5.3.1. Schalter	74
5.3.2. Operationsverstärker	76
5.4. Experimentelle Ergebnisse der Auslesekonzepte	79
5.4.1. Kapazitiver Transimpedanzwandler	80
5.4.2. Gepufferte Gate Modulation	85
5.4.3. Stromspiegel	90
5.5. Diskussion	95
5.6. Zusammenfassung	98
6. Realisierung prototypischer Nah-Infrarot Kameras	99
6.1. Digitale Signalverarbeitung	99
6.1.1. Digitalisierung	100
6.1.2. Schieberegister und Digitalteil im ASIC	104
6.1.3. Graphische Benutzeroberfläche	105
6.2. Stand der Technik	106
6.3. Implementierung einer 2 x 2 Kamera	109
6.3.1. Systembeschreibung	109
6.3.2. Experimentelle Ergebnisse	113
6.4. Implementierung einer 6 x 2 Kamera	116
6.4.1. Systembeschreibung	117
6.4.2. Experimentelle Ergebnisse	119
6.5. Diskussion	121
6.6. Zusammenfassung	126
7. Zusammenfassung	127
A. Anhang	131
A.1. Kalibrierung der optischen Leistung	131
A.2. Layout entstandener ASICs	132
A.3. Zusatzinformation - ADC	132
A.4. Design entwickelter Platinen	133