

1 Einleitung

Halbleiterphotosensoren, z.B. Photodioden, sind in großer Anzahl auf einem Halbleiter-Chip integrierbar. Ende der 60er Jahre wurden die ersten Photosensorarrays aus Photodioden in CMOS-Technologie, wie man sie heute noch vorfindet, entwickelt [1]. Ein Photosensorarray kann eindimensional oder zweidimensional ausgeführt sein.

Im Jahre 1970 wurde ein ladungsgekoppeltes selbstauslesendes Photosensorarray als integrierter Bildsensor, ein CCD (Charge Coupled Device), vorgestellt [2]. Wegen der zunächst besseren Homogenität der Photosensorelemente und der geringeren Pixelfläche (Pixel = Picture Element) im Vergleich zu CMOS-kompatiblen Photosensorarrays, ist die CCD-Technologie die z.Z. bevorzugte Technologie für Bildsensoren und ist z.B. in Videokameras für den Konsumermarkt äußerst stark vertreten.

Wegen der zunehmenden Prozeßminiaturisierung der CMOS-Technologie und der Möglichkeit, signalverarbeitende Elektronik zusammen mit dem Photosensorarray auf einem Chip bzw. On-Chip zu integrieren, sehen sich die CCD-Bildsensoren in den letzten Jahren der Herausforderung der CMOS-kompatiblen Bildsensoren gegenüber. Die CMOS-Technologie weist weltweit eine wesentliche größere Verfügbarkeit als die CCD-Technologie, die nur von wenigen Herstellern beherrscht wird, auf. Hinzu kommen weitere Vorteile von CMOS-Bildsensoren, wie wahlfreier Pixelzugriff, die Möglichkeit des zerstörungsfreien Auslesens, keine Ladungstransportverluste, geringere Leistungsaufnahme, keine Blooming- oder Smearingeffekte sowie die Möglichkeit, kostengünstige integrierte Bildsensoren aufzubauen. In solch einem System befindet sich zunächst die Umwandlung optischer Signale in elektrische Signale gefolgt von der Auslese der Ausgangssignale aus dem Photosensorelement bzw. aus dem Photosensorarray. Gegebenenfalls findet auch eine zusätzliche Signalaufbereitung (Verstärkung, Kennlinientransformation, A/D-Umsetzung, usw.) statt. Anschließend können die aufbereiteten Bildsignale vorverarbeitet (Bildfilterung, Merkmalextraktion, usw.) und über entsprechende Schnittstellen bzw. Treiber ausgegeben werden, wo sie dann weiterverarbeitet werden können. Das folgende Bild zeigt ein integriertes Bildsensorensystem in allgemeiner Form mit verschiedenen Beispielen möglicher On-Chip Elektronik:

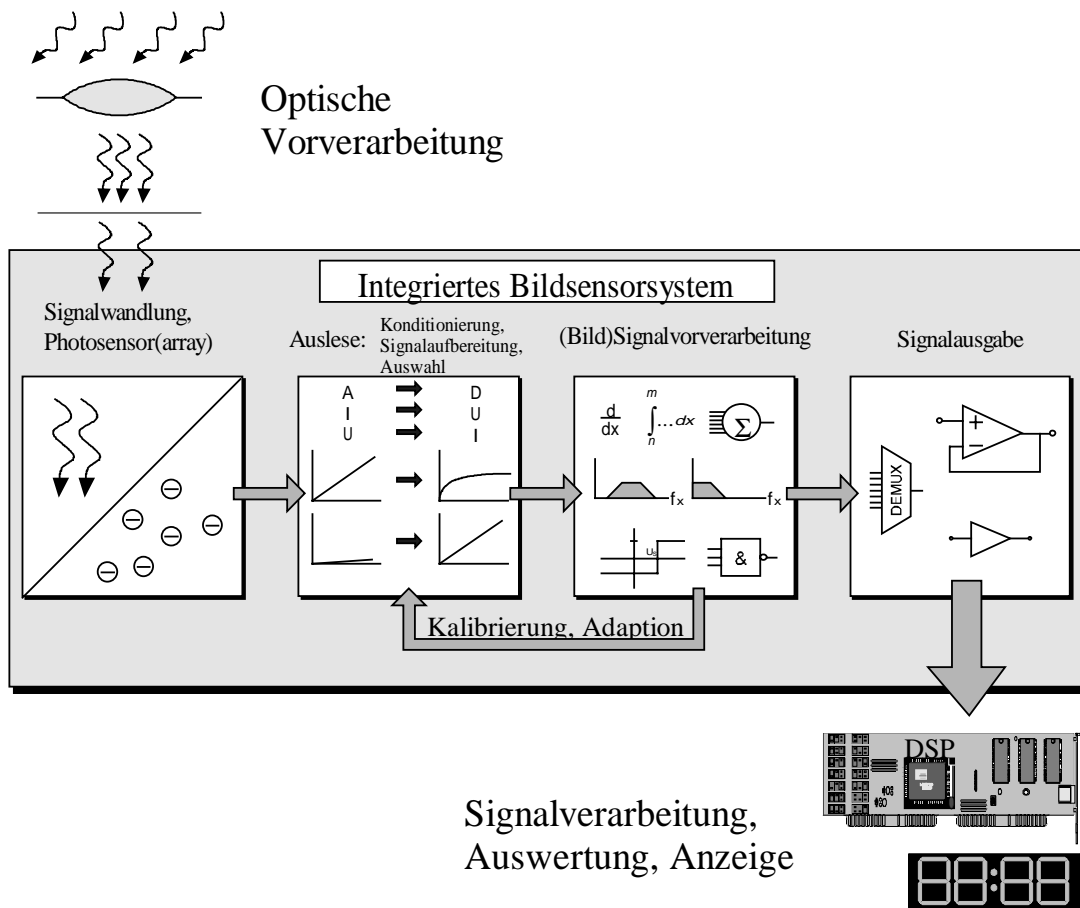


Bild 1.1: Integriertes Bildsensormsystem in allgemeiner Form mit Schnittstellen

Seit den 80er Jahren gab es zahlreiche Versuche, integrierte Bildsensormsysteme in CMOS-Technologie, deren Pixel mit enormer Funktionalität zur Signalvorverarbeitung ausgestattet sind, zu entwickeln. So wurden beispielsweise Neuronale Netze und andere parallel verarbeitende Schaltungen mit in das zweidimensionale Photosensorarray integriert. Begriffe wie "Smart Pixel", "Silicon Retina" und "Cellular Neural Network" wurden geprägt. Doch bei der hohen Leistungsfähigkeit der Elektronik eines Pixels wird die Chipfläche extrem groß, was wiederum zu Flächen- und Ausbeuteproblemen führt. Daher wird die Pixelzahl auf einem Chip bzw. die Bildauflösung entsprechend gering (4x4 [3], 16x16 [4] und 32x32 [5] Pixel). Solche Entwicklungen sind wegen der relativ geringen Anzahl der Pixel und der großen Gesamtpixelfläche nur für einen eingeschränkten Anwendungsbereich einsetzbar. Zusätzlich sinkt bei steigender Funktionalität innerhalb eines Pixels der Füllfaktor, also die Fläche des Photosensorelementes im Verhältnis zur gesamten Pixelfläche. Dabei kann es durch ortsbezogene Unterabtastung zu sogenannten Aliasing-Effekten schon bei der Bildaufnahme kommen.

Eine Möglichkeit, die Ortsauflösung integrierter Bildsensormsysteme mit zweidimensionalen Photosensorarrays zu steigern und die gesamte Chipfläche zu verringern, ist die Verwendung dreidimensionaler Technologie, bei der sich z.B. die übrige Elektronik unterhalb des

Photosensorarrays befindet [6]. Solch eine Technologie ist jedoch z.Z. nicht der Stand der Technik. Der Füllfaktor des Pixels kann hingegen vergrößert werden, indem man auf die massiv parallele Bildvorverarbeitung verzichtet, nur die nötigste Elektronik in die Pixel integriert und die Bildvorverarbeitung quasi an den Rand des Photosensorarrays verlegt. Wenn die Elektronik der Bildvorverarbeitung wesentlich schneller arbeiten kann, als das Photosensorarray selbst, ist auf diese Weise ein Hardwaremultiplex möglich.

Integrierte Bildsensorysysteme mit eindimensionalen Photosensorarrays haben die Einschränkung der geringen Pixelanzahl und des kleinen Füllfaktors nicht. Hier kann die zweite zur Verfügung stehende Dimension zur Realisierung der On-Chip Elektronik auf dem Chip zur Bildvorverarbeitung genutzt werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Realisierungsmöglichkeiten CMOS-kompatibler integrierter Bildsensorysysteme mit eindimensionalen Photosensorarrays für ein breites Anwendungsspektrum anhand von Beispielen aufzuzeigen und ihre Effizienz zu optimieren.

Einen weiteren Schwerpunkt dieser Arbeit bildet die Charakterisierung des photoempfindlichen MOS-Transistors, der im folgenden Photo-MOSFET genannt wird und der neben verschiedenen Photodioden und dem bipolaren Phototransistor die Möglichkeit für den Einsatz als Photosensor in einem CMOS-Prozeß bietet.

Weiterhin werden im Rahmen dieser Arbeit physikalische Modelle der photoempfindlichen Anteile CMOS-kompatibler Photosensoren untersucht, auf deren Grundlage dann entsprechende analytische Simulationsmodelle entwickelt und implementiert werden, die Simulationen zusammen mit den übrigen elektronischen Bauelementen eines integrierten Bildsensorysystems erlauben.