

„Die Entwicklung eines hochpräzisen optischen Sensors zur Erfassung des Winkels einfallender Lichtstrahlen in Standard-CMOS-Technologie“

von Christian Koch

Die vorliegende Dissertation beschäftigt sich mit einem Verfahren zur hochpräzisen Erfassung des Einfallswinkels von Lichtstrahlen mit Hilfe eines in Standard-CMOS-Technologie gefertigten Siliziumchips. Beginnend mit einer kurzen Einleitung, welche die Bedeutung von optischen Sensoren auf unterschiedlichen Gebieten sowohl aktuell als auch historisch erläutert, folgen anschließend einige für das Verständnis wichtige physikalische Grundlagen. Hierbei sind die Gebiete Transmission, Reflexion, Brechung und Beugung besonders hervorgehoben. Anschließend erfolgt die Beschreibung eines Prinzips, welches in der Lage ist, den Winkel von einfallendem Licht diskret mit einer Auflösung von ca. 3° zu messen. Hierzu ist eine Photodiodenanordnung in einer SOI-Technologie realisiert worden, die aus je 64 Photodiodenpaaren für die x-Komponente und für die y-Komponente des einfallenden Lichts besteht. Zur Auswertung dienen einfache digitale Inverter, deren Ausgangssignale in Kombination ein Datenwort darstellen, welches von einem Mikrocontroller ausgewertet und einem Winkel zugeordnet werden kann. Weiterhin wird auf die unterschiedlichen Fehlereinflüsse eingegangen, die die Genauigkeit eines jeden optischen Sensors beeinflussen können. Hierzu zählen lokale und globale Gradienten-Effekte, Brechung und Beugung sowie nicht planare Oberflächen in den einzelnen Prozessschritten bei der Chip-Herstellung.

Aufgrund der relativ geringen Auflösung und der gewählten SOI-Technologie erwuchs die Idee, einen neuen Ansatz zu realisieren, der zum einen in einer kostengünstigeren Standard-CMOS-Technologie realisiert werden kann und zum anderen in der Lage ist, eine deutlich erhöhte Auflösung durch ein wertekontinuierliches Messverfahren zu erreichen. Zu diesem Zweck wurde ein Messsystem entwickelt, das mit nur einem einzigen Photodiodenpaar und einer entsprechend angepassten Schaltungstechnik arbeitet. Die durch Lichteinfall auf die Photodioden erzeugten Photoströme werden mit Hilfe eines Schmitt-Triggers ausgewertet, der einen Ausgangspuls liefert, welcher in direktem Zusammenhang mit der Größe des Photostroms steht. Schnelle Zählerschaltungen arbeiten während dieses Pulses und erzeugen eine Zahl, die wiederum in direkter Verbindung zum Photostrom steht. Durch eine geeignete Verhältnisbildung zwischen den Zahlen, die für die beiden Photodioden ermittelt werden, erhält man einen Quotienten, der eine eindeutige Zuordnung zum Einfallswinkel des Lichts ermöglicht. Die maximal gemessene Auflösung dieses Systems beträgt $1/200^\circ$, was eine signifikante Verbesserung zur diskreten Winkeldetektion darstellt.

Wegen der oben erwähnten und in Messungen spürbaren Gradienten-Effekte wurde ein zweiter Chip entwickelt, dessen integrierte Photodioden in der sogenannten Common-Centroid-Struktur realisiert sind. Die in dieser Dissertation auch Quad-Struktur genannte Aufbautechnik ermöglicht die Kompensation von Gradienten vielfältiger Art, wie z.B. Gradienten in der Schwellenspannung von Transistoren. Im konkreten Fall kompensiert die Quad-Struktur die Helligkeitsgradienten, die in den verwendeten Photodioden auftauchen. Der neue Chip ermöglichte zwar keine noch höheren Auflösungen, jedoch konnten detaillierte Kenntnisse darüber gewonnen werden, dass für zukünftige Produkte die Quad-Struktur die Aufbautechnik der Wahl sein sollte, da sie sehr stabil gegenüber Variationen in der Ausrichtung der Lichtquelle ist.

Des Weiteren konnte nachgewiesen werden, dass das Sensorkonzept auch bei Umgebungslicht korrekt arbeitet, da durch eine geeignete Mathematik der Einfluss von Tages- bzw. Umgebungslicht nahezu vollständig kompensiert werden kann.

Der in dieser Arbeit entwickelte Winkelsensor ist kostengünstig und vielseitig einsetzbar. Anwendungen in der Solarzellentechnik, derameratechnik und auch in der Automobiltechnik in Form von Kurvenlichtdetektion oder Klimaanlagesteuerung sind denkbar.