

Positionsmessung: PSD oder CCD?

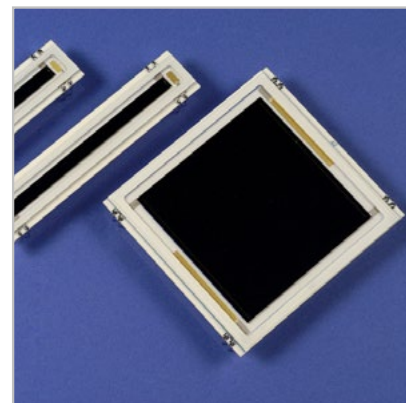
Um die Position eines Lichtpunktes auf einer Detektoroberfläche zu bestimmen, gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten: Entweder betrachtet man die ganze Fläche und versucht festzustellen, was darauf ein Lichtpunkt ist und wo er sich befindet - entsprechend der Suche nach einer Stecknadel im Heuhaufen. Oder aber man verwendet eine Vorrichtung, die allein auf Lichtpunkt-Positionen reagiert und alle anderen Größen ignoriert - die gezielte Suche nach der Nadel mit einem Magneten.

Die erste Methode entspricht der Arbeitsweise eines CCD (charge coupled device - Zeilen- oder Bildsensor mit Ladungsverschiebung), die zweite die eines PSD (position sensitive detector - positionsempfindlicher Sensor).

PSDs und CCDs sind zwei grundsätzlich verschiedene Bauelemente. Zwar detektieren beide die Position von einfallendem Licht aber in sehr unterschiedlicher Weise. Das Ausgangssignal eines PSD hängt von der Position des Schwerpunktes der Lichtverteilung auf der aktiven Fläche ab. Ein CCD dagegen erfasst das Licht in vielen getrennten Pixels parallel und gibt dann die einzelnen Messwerte sequentiell aus. Daraus kann ein Rechner dann den Maximalwert und dessen Position ermitteln.

PSDs arbeiten örtlich analog; sie werten den Strom aus, der von einer Fotodiode erzeugt wird und sich in eine oder zwei resistive Schichten aufteilt. Die Vorteile dieser einfachen Bauweise sind Stabilität und Zuverlässigkeit. Die für die Verarbeitung des analogen Ausgangssignals benötigte Elektronik ist relativ simpel und lässt sich kostengünstig aufbauen.

Ein CCD ist im Prinzip ein Feld aus sehr vielen dicht nebeneinander liegenden einzelnen MOS-Dioden. Das Licht erzeugt in jeder Diode eine elektrische Ladung. Durch Anlegen einer geeigneten Folge von Taktimpulsen werden die angesammelten Ladungen über den Chip hinweg zu dessen Ausgang übertragen, wo sie in Spannungen gewandelt werden. Die komplizierte Struktur macht CCDs schwieriger zu fertigen und anfälliger gegenüber Defekten. Sie geben ein örtlich bzw. zeitlich diskretes Ausgangssignal ab.

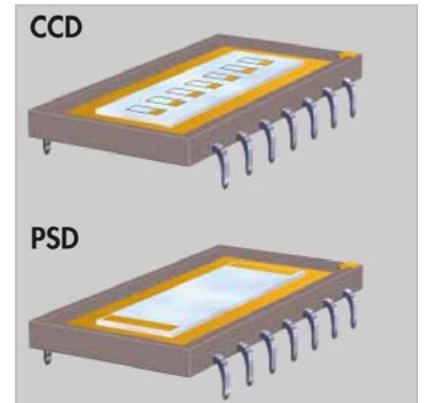


Unübertroffene Geschwindigkeit und Auflösung

Ein PSD ermittelt allein die Position des Schwerpunkts des auftreffenden Lichtpunktes. Das tut er allerdings innerhalb von Nanosekunden und mit Sub-Nanometer-Auflösung. Er erreicht dabei eine Messtoleranz von etwa 0,1%. Der Dynamikbereich der Lichtintensität erstreckt sich über mehrere Dekaden. Die Genauigkeit lässt sich noch wesentlich erhöhen, wenn Referenzpunkte in einer Wertetabelle abgespeichert werden. Normalerweise erzeugen die in Verbindung mit dem Sensor verwendeten optischen Komponenten Messwertverfälschungen; wenn diese aber in die Wertetabelle eingearbeitet werden, lassen sich die Fehler weitgehend kompensieren.

Da der PSD die Positionsinformation aus den Photoströmen der Dioden gewinnt, lassen sich hier Betriebsweisen wie bei normalen Photodioden anwenden - etwa eine Modulation des Lichtes, um Störungen durch Fremdlicht zu eliminieren.

PSDs lassen sich in beliebigen Bauformen herstellen. Einige ungewöhnliche Ausführungen sind z. B. helixförmige, kreisrunde oder sphärische für 2D- und 3D-Winkelmessungen. Für einige Anwendungen (z. B. Oberflächen-Untersuchungen) wurden ganze Arrays von PSDs entwickelt.



Ganzes Bild auf einmal

Das Ausgangssignal eines CCD enthält Informationen über die Lichtintensitätsverteilung auf der gesamten aktiven Fläche, es beschreibt also ein Bild. Ein CCD ist deshalb die übliche Wahl für den Bildsensor in einer Videokamera.

Den Schwerpunkt eines Lichtpunktes kann ein CCD aber nicht ohne zusätzliche digitale Signalverarbeitung ermitteln. Damit ist dieser Messwert nicht so schnell verfügbar wie beim PSD. Alle Pixel abzutasten und digital zu verarbeiten, benötigt einige Zeit und macht das CCD sehr viel langsamer als den PSD. Andererseits haben die Pixel eine durch die Herstellungsmaske definierte Position, daraus resultiert eine sehr hohe Genauigkeit. Um jedoch die maximale Genauigkeit und die höchste Auflösung zu erhalten, ist eine Interpolation zwischen benachbarten Punkten erforderlich. Dies verlangsamt diese Messung noch weiter. Für Lichtpunkte, die kleiner sind als der Abstand zwischen zwei benachbarten Pixels, ist keine Interpolation möglich, und das Signal geht verloren. Dies setzt eine untere Grenze für die Größe des verwendbaren Lichtpunktes.

Der Dynamikbereich eines CCD ist begrenzt, und eine plötzliche Änderung der Lichtintensität kann ein „Blooming“ verursachen - eine Überstrahlung benachbarter Pixels. Dieser Effekt tritt nicht mehr auf bei den CMOS-Bildsensoren. Bei diesen noch relativ neuen Alternativen zu CCDs sind viele von deren Schwachpunkten beseitigt, vor allem was den Dynamikbereich betrifft.

Ein Vorteil des CCD ist (wie beim menschlichen Auge), dass es empfangenes Licht bis zum Zeitpunkt der Messung speichern kann. Diese Eigenschaft ist bei extrem kleinen Lichtintensitäten von Nutzen.

Vielfältige Anwendungen für PSDs

Wenn es darum geht, den Schwerpunkt eines Lichtpunktes zu ermitteln, ist ein PSD (positionsempfindlicher Sensor) einem CCD (ladungsgekoppelter Zeilen- oder Bildsensor) deutlich überlegen.

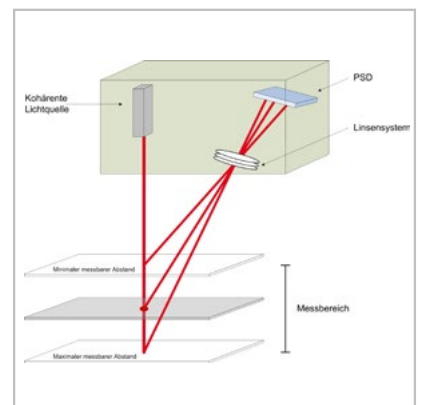
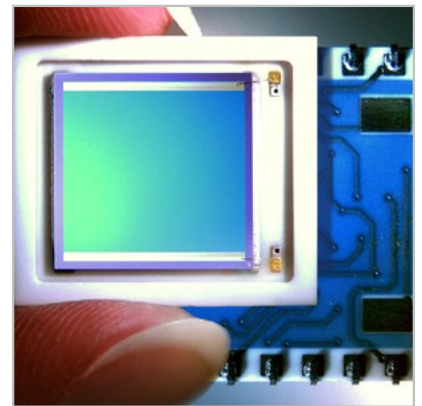
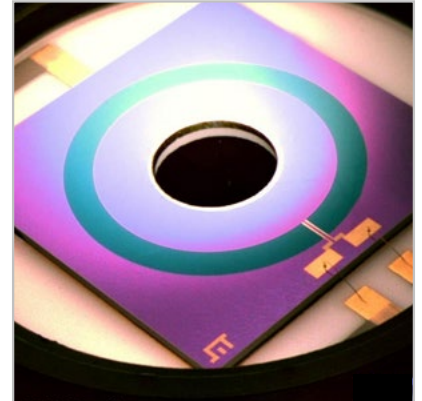
Beispiele für Anwendungen sind etwa Ausrichtungssysteme, wo die Position eines Referenz-Laserstrahls relativ zum PSD gemessen wird. Dieses Prinzip wird in den verschiedensten Bereichen genutzt - vom Brückenbau bis zu optischen Bänken. Da PSDs so hergestellt werden können, dass sie auch bei sehr tiefen Temperaturen arbeiten (etwa bei flüssigem Stickstoff), wird diese Ausrichtungsmethode auch in der Infrarotoptik angewendet, wo die Infrarotstrahlung vom PSD minimal gehalten werden muss.

Ein Schwachpunkt der PSDs besteht darin, dass sie nicht zwischen einem direktem und einem reflektierten Strahl unterscheiden können. Wenn zwei Lichtpunkte auffallen, geben sie den Schwerpunkt zwischen beiden als Messwert aus. Ein CCD bietet in diesem Fall die Möglichkeit, über die Intensität zwischen dem direkten und dem reflektierten Strahl zu unterscheiden. Das macht allerdings das System wieder komplexer und damit langsamer.

Abstandsbestimmung per Triangulation

PSDs finden häufig in Abstandssensoren Einsatz, die nach dem Prinzip der Triangulation arbeiten. Solche Sensoren kommen mit relativ einfacher Elektronik aus und lassen sich kostengünstig herstellen. Ihre Schwachstelle besteht darin, dass die Struktur der zu messenden Oberfläche Fehler bei den Messwerten verursachen kann. Rauigkeit kann die Form des Lichtpunktes verändern, wodurch sich der Schwerpunkt verschieben kann und das Messergebnis verfälscht wird. Das CCD dagegen detektiert den Spitzenwert und identifiziert diesen als die Zielposition, gleichförmig und genau.

Ein anderes Problem besteht darin, dass dunkle Oberflächen, etwa schwarzes Gummi, nur wenig Licht reflektieren und der PSD dadurch ein zu schwaches Signal erhält. Um dieses Problem zu lösen, hat die Firma SiTek eine neue Familie von PSDs entwickelt, die im Vergleich zu den bisherigen wesentlich lichtempfindlicher sind. Im Gegensatz zu den Standard-PSDs, die eine Art Photodiode darstellen, handelt es sich hier um positionsempfindliche Phototransistoren. Sie geben bei gleicher Lichtintensität einen mehr als fünfmal höheren Photostrom ab. In naher Zukunft wird ihre Lichtempfindlichkeit sogar noch weiter steigen, da der Herstellungsprozess kontinuierlich verbessert wird.



In Verbindung mit einer ausgeklügelten Signalverarbeitung - etwa optische Filterung und synchrone Detektion - lösen PSD jetzt einige bisher für unlösbar gehaltene Messaufgaben - etwa die Veränderung der glühenden Oberfläche von flüssigem Eisen oder Messungen innerhalb einer Schweißflamme.

Daneben werden sich PSDs in Anwendungen bewähren, wo Bewegungen von mechanischen Teilen ohne Berührung oder Belastung erfasst werden müssen. Beispiele sind etwa die Bewegung von Membranen in Mikrofonen, Lautsprechern und Drucksensoren oder von optischen Fasern in Wind- oder Beschleunigungssensoren. Auch für Füllstandsmessungen in Treibstofftanks lassen sie sich einsetzen. Mit einer einfachen analogen Schaltung erreichen sie Auflösungen bis in den Sub-Nanometer-Bereich.