

Das Ziel im Visier – Laser-Entfernungsmesser

Lasersensoren als Massenprodukt

Der Markt für Laser Entfernungsmesser wächst kontinuierlich. Entwickelt für High End Anwendungen in Militär und Industrie sind Lasersensoren durch den Einzug in Konsumprodukte günstig wie nie zuvor. Herzstück für die optische Distanzmessung sind qualitativ hochwertige und gleichzeitig kostengünstige Laserdioden und Photodioden.

Die berührungslose Abstandsmessung und Orientierung lässt sich bereits in der Natur beobachten. Ein bekanntes Beispiel ist die Fledermaus, die bei absoluter Dunkelheit in der Lage ist, sich zu orientieren. Sie setzt dazu eine Echoortung ein; die Entfernung und die Richtung von Hindernissen bestimmt das Säugetier aus den Reflexionssignalen.

Inspiriert durch die Natur wurde nach Verfahren gesucht, welche eine solche Ortung auch für den Menschen nutzbar macht. Maschinen aber auch blinden Menschen können diese Ortungssysteme zur Orientierung dienen. Eine innovative Entwicklung von VISTAC ist beispielsweise ein so genannter Laserlangstock (Abb. 1), welcher als Mobilitätshilfe stark sehbehinderten Menschen und Blinden hilft. Hier ist in den Stock ein Lasersensor, bestehend aus Laserdiode und Detektor, integriert.

Der Laserstrahl wird so aufgeweitet, dass Hindernisse identifiziert werden, die sich genau oberhalb des Stocks im Kopf- und Brustbereich des Sehbehinderten befinden und allein durch das Tasten mit den Stock nicht identifiziert würden. Wird das von einem Hindernis reflektierte Licht gemessen, beginnt der Signalgeber zu vibrieren. So wird, ähnlich unserem obigen Beispiel aus der Natur, eine Ja-Nein-Information zur räumlichen Orientierung übermittelt.



Bild 1:
Laserlangstock für Sehbehinderte zur
Orientierungshilfe

Auch die Automobilindustrie macht sich diese Technologie zu Nutzen und bietet durch Fahrerassistenzsysteme mehr Komfort und Sicherheit an. Im Jahr 2005 starben auf Europas Straßen noch mehr als 40.000 Menschen. Ein von der europäischen Kommission ins Leben gerufene e-Safety-Programm sieht vor, eine Halbierung der Unfallzahlen bis 2010 voranzutreiben. Als Applikationsbeispiele zur Fahrsicherheit seien Abstandswarner (s. Bild 2), Spurführungsassistenten oder auch Notbremsysteme für zu dicht auffahrende Fahrzeuge genannt. Sämtliche Informationen über die Fahrumgebung, Frühwarnsysteme oder Einparkassistenten erhöhen die Verkehrssicherheit. Rechtlich gesehen bedarf die Einführung zusätzlicher Fahrerassistenzsysteme noch einer sehr sorgfältigen Prüfung. Wer wird zum Beispiel haftbar gemacht, wenn ein System Fehlfunktionen aufweist und dadurch ein Unfall verursacht wird?

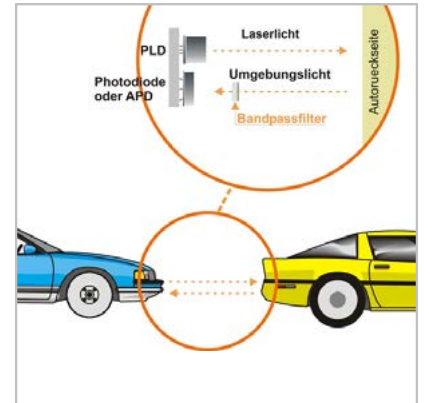


Bild 2: Abstands- und Relativgeschwindigkeitsmessung im Automobilbereich

Diese Problematik stellt sich nicht für Anwender, die mit einem modernen Laser Rangefinder schnell und berührungslos Distanzen bis zu einigen Kilometern messen wollen. Dabei kann es sich um einen kleinen, tragbaren Laserentfernungsmesser handeln oder um einen Rangefinder, integriert in ein Zielfernrohr oder Fernglas. Diese Systeme finden ihren Absatz beispielsweise bei Golfspielern, die damit ihr Handicap verbessern wollen oder bei Jägern, um ihr Ziel genau ins Visier zu nehmen. Sie müssen sich auch keine Sorgen um Ihr Augenlicht machen, da der Halbleiterlaser in der Zieloptik die Bestimmungen der Laserschutzklasse 1 erfüllt.

Basiselement für die Laserentfernungsmesser ist die optische Distanzmessung nach dem Prinzip der Pulslaufzeit („TOF – Time-of-flight“). Mit diesem berührungslos arbeitenden Werkzeug lassen sich Abstände und Geschwindigkeiten von einigen cm bis km messen.

Pulslaufzeit – Funktionsprinzip

Bei der Laufzeitmessung wird ein zeitlich modulierter Lichtimpuls durch eine Sendeoptik scharf gebündelt ausgesandt. Aus der Ankunftszeit des reflektierten Lichts wird die Laufzeit Δt des Lichts bestimmt. Daraus wird über die Lichtgeschwindigkeit c die Entfernung l ermittelt. Da das Licht den Weg zweimal zurücklegt, muss die Entfernung noch durch zwei geteilt werden. Die Brechkraft n des umgebenden Mediums reduziert die Lichtgeschwindigkeit.

$$l = \frac{c \cdot \Delta t}{2 \cdot n}$$

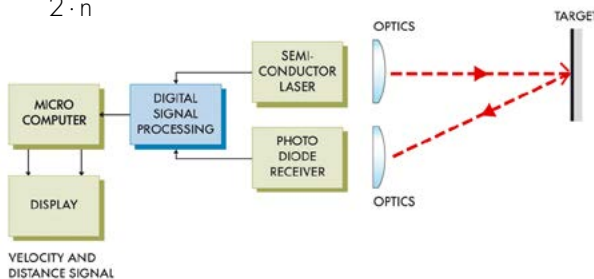


Bild 3: Funktionsprinzip der Pulslaufzeit

Der Vorteil dieses Verfahrens ist die geringe Reaktionszeit. Der Messbereich beim TOF liegt zwischen 1 Meter und mehreren 10 Kilometern. Der Nachteil ist die erforderliche Messung in sehr kurzen Zeitabständen (Nano- bis Picosekunden). Daher ist es schwierig, eine höhere Auflösung als einige Zentimeter zu erreichen. Um die Anforderungen an die Zeitmessung zu verringern, werden Verfahren eingesetzt, bei denen der Laserstrahl selbst frequenzmoduliert oder mit einem hoch-frequenten Signal moduliert wird.

Der Laser als Sender

Die meisten Laserdioden sind darauf ausgelegt, eine optische Dauerstrichleistung (CW, continuous wave) von einigen mW bis zu mehreren Watt abzustrahlen. Diese Laserdioden können nur bedingt übersteuert werden. Übersteigt die optische Leistung auch nur für kurze Zeit den spezifizierten Höchstwert, zerstört das starke Licht den inneren Resonator der Diode.

Impuls-laserdioden (PLDs) sind dagegen für kurze, kräftige Überlastungen ausgelegt und eignen sich hierdurch optimal für Time-of-Flight Messungen. Damit die Spitzenleistungen möglich werden, müssen die Dioden mit einem sehr geringen Tastverhältnis (duty cycle) von typisch 0.1 % angesteuert werden. Das bedeutet, dass einem Puls von z.B. 100 ns entsprechend eine „Pause“ von 100 µs folgt. Um Impulsfolgen im kHz-Bereich zu bekommen, muss der optische Impuls also sehr kurz sein. In der Regel erzeugt man Pulse von einigen 10 ns mit sehr kurzen Anstiegszeiten. Hierzu muss die Diode mit einem starken Stromimpuls (im ein- bis zweistelligen Amperebereich) betrieben werden. Das Erzeugen solcher Impulse ist keine einfache Aufgabe. Dazu bedarf es unter anderem besonderer Schaltungstransistoren und kurzer Leitungsführung.

Bei der Auswahl der Impuls-laserdiode ist die emittierende Wellenlänge ein wichtiges Kriterium. Abhängig vom verwendeten Basismaterial der aktiven Schichten lassen sich unterschiedliche Emissionswellenlängen erzeugen. Für die Laserentfernungsmesser im Konsum-, Industrie- und Automobilbereich hat sich die Wellenlänge 905 nm etabliert, die für das menschliche Auge nicht sichtbar ist. Als Empfänger bietet sich hier ein Silizium Detektor an, der dort seine maximale Empfindlichkeit hat (s. unten).

„Multi-Junction“ Technologie für höchste Leistungen

Als Material wird AlGaAs eingesetzt. Die AlGaAs-Struktur der 905 nm Laserdioden ist seit vielen Jahren für ihre Zuverlässigkeit, Strahleigenschaften und Temperaturstabilität bekannt.

Bei einer Effizienz von 1 W/A erreichen die Einzelemitter (Bild 4a) bis zu 40 W.

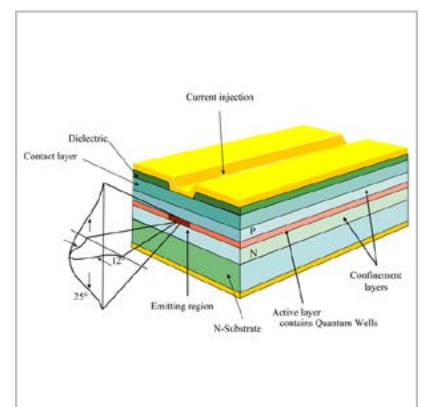


Bild 4a:
 PLD Strukturen
 (nicht maßstabsgerecht!)
 Einzelemitter

Höhere Leistungen lassen sich mit der von Laser Components entwickelten „Multi-Junction“ Technologie erzielen (Bild 4b). Dabei werden in einem Chip mehrere Laserdioden epitaktisch gestapelt, so dass der Abstand zwischen zwei Emittlern lediglich ca. 4 µm beträgt. Hierdurch kann aus einer Diode, abhängig von der Streifengröße, bis zu 75 W gewonnen werden. Höhere Spitzenleistungen erreicht man nur durch Stapelaufbauten (Bild 4c): Spitzenleistungen von 220 W bei einer Pulslänge von 100 ns, bei kürzeren Pulsen sind auch „Lichtblitze“ von über 400 W möglich.

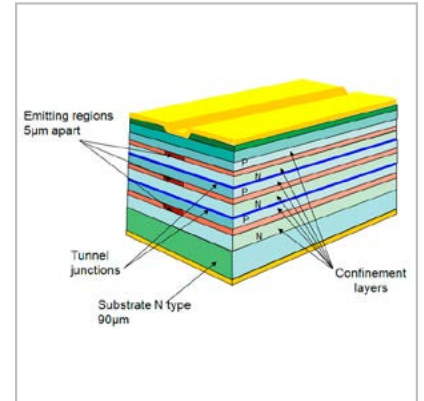


Bild 4b:
PLD Strukturen
(nicht maßstabsgerecht!)
Multi-Junction Chip mit 3 Emittler

Neben der Wellenlänge und den elektrooptischen Spezifikationen ist die Zuverlässigkeit ein wichtiges Kriterium für die Auswahl der richtigen PLD. Wie bei anderen Lichtquellen, und insbesondere bei Halbleiterlasern, hängt auch bei PLDs die Lebensdauer von den Betriebsbedingungen ab. Dabei können die PLDs bei kurzen Pulsen von einigen ns oder bei kleinen Wiederholfrquenzen deutlich übersteuert werden, ohne dabei Schaden zu nehmen. Während für militärische Applikationen wie das optische Zünden von Munition ein einzelner Laserpuls ausreicht, fordern Sicherheitsscanner in der Industrie 24 Stunden am Tag einen garantierten Einsatz und das über Jahre hinweg.

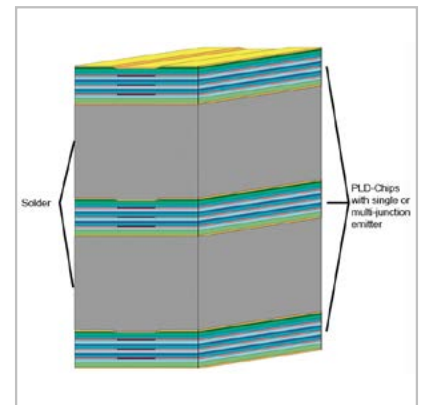


Bild 4c:
PLD Strukturen
(nicht maßstabsgerecht!)
Stapelaufbau aus 3 Multi-Junction Chips

Bei der Berechnung für die mittlere Ausfallrate von 905 nm PLDs wird die folgende, auf jahrelangen Erfahrungen und Messungen beruhende, empirische Formel verwendet:

$$MTTF = k \times \{P/L\}^6 \times t_w^{-2} \times F^{-1} \times f(T)$$

Hierbei gilt:

Po/L	in mW/µm	(optische Spitzenleistung / Länge des Emitters)
t _w	in ns	(Pulslänge)
F	in kHz	(Wiederholfrquenz)
f(T)	= 1 @ 25 °C	(Multiplikationsfaktor abhängig von der Gehäusetemperatur)
k	= Konstante, abhängig vom Lasermaterial	(z.B.: 1.7 x 10 ²¹ für 905 nm PLDs von Laser Components)

Einen Beitrag zur Zuverlässigkeit und Performance leistet auch das Gehäuse, in dem der PLD-Chip eingebaut ist. Bislang waren preissensitive Applikationen auf Pulsaserdioden im Plastikgehäuse angewiesen. Mit der 905DxxUA-Serie (Bild 6) bietet Laser Components low cost / high end Impulsaserdioden in einem metallischen, hermetisch abgeschlossenem TO56 Gehäuse an. Je nach Ausführung und Chipaufbau liegt die Spitzenleistung im Bereich von 5 W bis 75 W. Die Vorteile des Metallgehäuses mit Glasfenster liegen auf der Hand:

- Glasfenster ermöglicht saubere Abstrahlcharakteristik
- Sehr präzise Chipposition im Gehäuse
- Gutes thermisches Verhalten
- Höchste Zuverlässigkeit
- Gute Übersteuerbarkeit
- Kleine Induktivitäten und somit kurze Anstiegszeiten

Der Empfänger

Auf der Empfängerseite sitzen in Laserentfernungsmesssystemen meist Silizium-PIN-Photodioden oder **Avalanche Photodioden** (kurz: APDs), um die kurzen Lichtpulse der PLDs zu detektieren. Diese sind im Spektralbereich von 400 nm bis 1100 nm empfindlich und haben bei ca. 900 nm ihre maximale Empfindlichkeit. Die Lebensdauer bei diesen Bauteilen ist nahezu unkritisch. Bei korrekter Handhabung unterliegen die Avalanche Photodioden fast keiner Alterserscheinung.

Bei konventionellen PIN-Photodioden erzeugen einfallende Photonen Elektron-Loch Paare, auch als Ladungsträger bezeichnet, die einen messbaren Photostrom liefern. Die Energie der einfallenden Photonen ist also in elektrische Energie umgewandelt worden. APDs gehen hier einen kräftigen Schritt weiter. Im Gegensatz zu „normalen“ PIN-Photodioden wird beim Einfall von Photonen auf eine APD eine Ladungslawine ausgelöst. Die Avalanche Dioden eignen sich daher besonders für die Verbesserung der Empfindlichkeit. Voraussetzung ist, dass an der APD eine Sperrspannung angelegt wird, um die Verarmungszone aufzuweiten. In dieser werden die vom Licht freigesetzten Ladungsträger im elektrischen Feld derart beschleunigt, dass sie durch Stoßionisation weitere Elektron-Loch Paare erzeugen. Der erzeugte Strom berechnet sich dabei wie folgt:

$$(a) \quad I = R_o \times M \times P_s$$

wobei R_o (A/W) die spektrale Empfindlichkeit der APD, M die interne Verstärkung und P_s (Watt) die einfallende Lichtleistung ist. Dabei hängt die Verstärkung der APD von der angelegten Sperrspannung ab (s. Bild. 5).

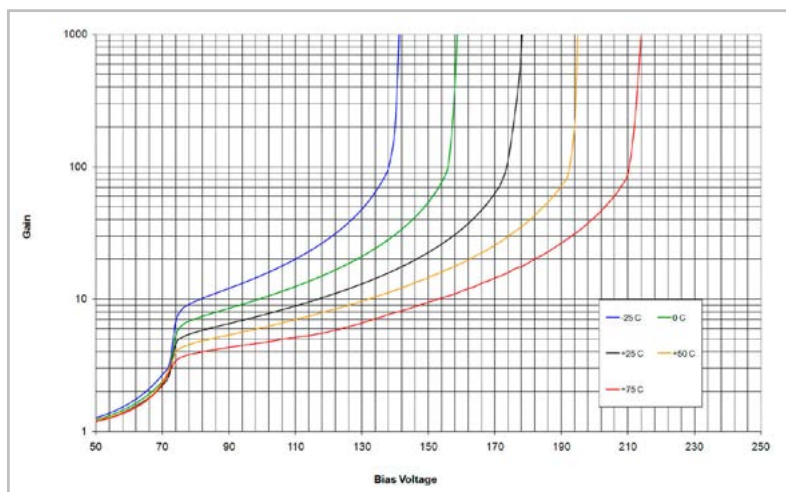


Bild 5:
Typische Verstärkung vs Betriebsspannung und Temperatur für eine Si-APD mit $D = 500 \mu\text{m}$

APD oder PIN-Diode

Um das Leistungsvermögen einer APD mit einer PIN-Diode zu vergleichen, reicht es nicht aus, alleine das Rauschen der Detektoren zu vergleichen. Entscheidend ist das Signal-Rausch-Verhältnis des gesamten Systems. Bei PIN-Dioden muss also immer auch der zugehörige Vorverstärker bei der Beurteilung berücksichtigt werden, dessen Rauscheigenschaften u. A. frequenzabhängig sind. Eine APD ist einer PIN-Diode immer dann überlegen, wenn die APD das Signallevel deutlich verstärken kann, ohne dabei das Gesamtrauschen des Systems signifikant zu erhöhen. APDs werden dort bevorzugt, wo geringe Lichtintensitäten bei mittleren oder hohen Frequenzen detektiert werden.

Damit die APD das Systemrauschen nicht beeinträchtigt, muss die interne Verstärkung so gesteuert werden, dass das Detektorrauschen ungefähr gleich dem Eingangsrauschen des nachfolgenden Verstärkers oder Lastwiderstands ist.

Dabei ist die interne Verstärkung optimal gewählt, wenn das Detektorrauschen ungefähr gleich dem Eingangsrauschen des nachfolgenden Verstärkers (oder Lastwiderstandes) ist, so dass die APD das Systemrauschen nicht beeinträchtigt.

Auf die Anwendung bezogen erreicht eine APD durch die interne Verstärkung von ca. 10 bis 1000 eine Verbesserung des Signalrauschverhältnisses um den Faktor 2 bis 5 im Vergleich zu PIN-Dioden mit Vorverstärkern. Sowohl bei PIN-Dioden als auch bei APDs wächst das Rauschen mit der Bandbreite des Systems. Deswegen sollte sorgfältig geprüft werden, welche Möglichkeiten vorhanden sind, um die Bandbreite zu reduzieren.

Um Rauschen durch Umgebungs- oder Streulicht zu vermeiden wird auf der Empfängerseite ein geeigneter optischer Bandpassfilter vorgesetzt. Auch hier bietet Laser Components mit der SARF500F2 eine high end / low cost Lösung für die Kombination mit den 905 nm Impulslaserdioden an. Bei der SARF-Serie (Bild 6) ist ein 905 nm Bandpassfilter bereits im kleinen TO-Gehäuse integriert. Der 230 µm oder 500 µm APD Chip ist ebenfalls für 905 nm optimiert, sodass eine optimale Performance bei 905 nm garantiert ist. Für die unmittelbarer Integration des Filters in das Gehäuse sprechen: Kostenersparnis, da kein externer Filter mehr benötigt wird und zusätzliche Montageschritte entfallen, kleinste Bauform und optimale Systemeigenschaften bei der Messwellenlänge 905 nm. Die APD-Filter-Lösung wird im modifizierten TO-46 oder als SMD Gehäuse gefertigt.

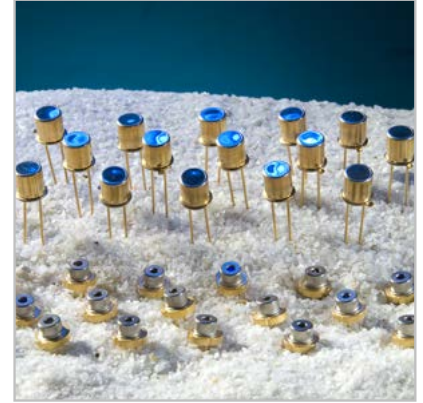


Bild 6:
low cost / high end Puls laserdioden
im TO56 und Si-Avalanche-Photo-
dioden mit eingebauten 905 nm
Bandpassfilter

Zusammenfassung

Die Anwendungen für Lasersensoren nehmen kontinuierlich zu. Bei der Herstellung von kostengünstigen Laserentfernungsmessern nach dem Prinzip der Pulslaufzeit (TOF - time of flight -) werden mittlerweile low cost / high end Komponenten wie Pulsaserdioden im Metallgehäuse und Avalanche Photodioden mit eingebauten Bandpassfilter verwendet.

Literatur

Laser Components: „Silicon Avalanche Photodiodes“

Vistac: „Laser Langstock“ www.vistac.de

K. Fürstenberg & R. Schulz: Laserscanner für Fahrerassistenzsysteme, ATZ09/2005 Jahrgang 107
www.wikipedia.de