

Messtechnik

Lasersensoren als Massenprodukt

Das Ziel im Visier

Mit dem Einzug der ursprünglich für High-End-Militär- und Industrieanwendungen entwickelten Laserentfernungsmesser in die Consumerlektronik wächst der Markt für optische Distanzmesser kontinuierlich. Für die Herstellung kostengünstiger Lasersensoren, die nach dem Prinzip der Pulslaufzeit arbeiten, gibt es mittlerweile qualitativ hochwertige und dabei doch preisgünstige Komponenten wie Pulsaserdioden im Metallgehäuse und Avalanche-Photodioden mit eingebautem Bandpassfilter. Doch woher kommt es wirklich an?

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 sie aus den Reflexionssignalen.



Winfried Reeb, Laser Components

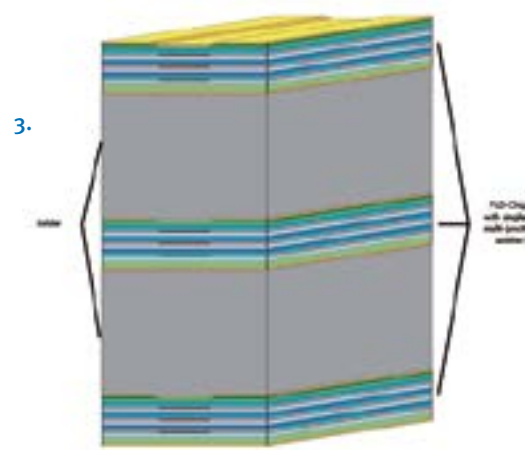
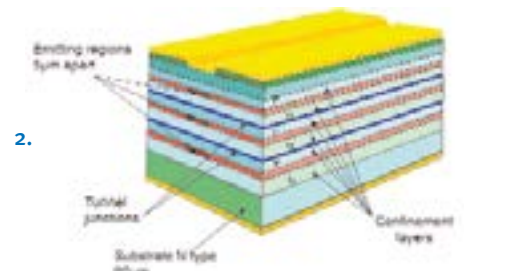
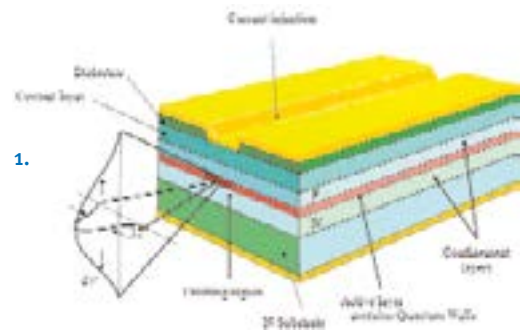
»Eine APD ist einer PIN-Diode immer dann überlegen, wenn die APD den Signallevel deutlich verstärken kann, ohne dabei das Gesamt-räuschen des Systems signifikant zu erhöhen.«

»Inspiriert durch die Natur, wurde nach Verfahren gesucht, die eine solche Ortung auch für den Menschen nutzbar machen«, erklärt Winfried Reeb, Produktingenieur bei Laser Components. »Maschinen, aber auch blinden Menschen können diese Ortungssysteme zur Orientierung dienen. Eine innovative Entwicklung des auf Blindenhilfsmittel spezialisierten Optikspezialisten Vistac ist beispielsweise ein so genannter Laserlangstock, der als Mobilitäts-

hilfe sehbehinderten Menschen hilft. In den Stock ist ein Lasersensor integriert, bestehend aus Laserdiode und Detektor. Der Laserstrahl wird so aufgeweitet, dass Hindernisse identifiziert werden, die sich genau oberhalb des Stocks im Kopf- und Brustbereich des Sehbehinderten befinden und die allein durch das Tasten mit dem Stock nicht identifiziert würden. Wird das von einem Hindernis reflektierte Licht gemessen, beginnt der Signalgeber zu vibrieren und übermittelt so, ähnlich unserem obigen Beispiel aus der Natur, eine Ja-Nein-Information zur räumlichen Orientierung.«

Auch die Automobilindustrie macht sich diese Technologie zunutze und setzt sie in Fahrerassistenzsystemen ein. »Im Jahr 2005 starben auf Europas Straßen noch mehr als 40.000 Menschen«, so Reeb. »Ein von der europäischen Kommission ins Leben gerufenen e-Safety-Programm sieht vor, eine Halbierung der Unfallzahlen bis 2010 voranzutreiben.« Applikationsbeispiele zur Fahr-sicherheit sind u.a. Abstandswarner, Spurführungsassistenten oder auch Notbremsysteme für zu dicht auffahrende Fahrzeuge. Rechtlich gesehen bedarf die Einführung zusätzlicher Fahrerassistenzsysteme jedoch noch einer sehr sorgfältigen Prüfung. Wer wird zum Beispiel haftbar gemacht, wenn ein System Fehlfunktionen aufweist und dadurch ein Unfall verursacht wird?

»Diese Problematik stellt sich nicht für Anwender, die mit einem modernen Laser-Rangefinder schnell und berührungslos Dis-

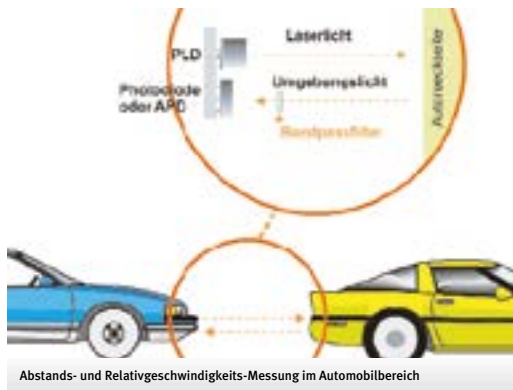


Verschiedene Aufbauten von PLDs:
1. Einzelmitter,
2. Multi-Junction Chip mit drei Emittern,
3. Stapelaufbau aus drei Multi-Junction Chips

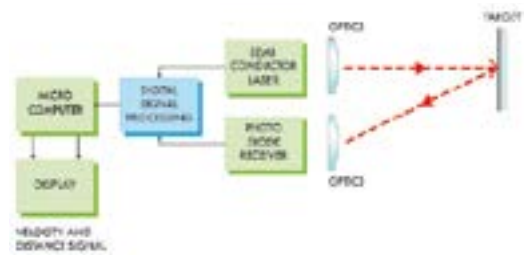
tanzen bis zu einigen Kilometern messen wollen«, fährt Reeb fort. »Dabei kann es sich um einen kleinen, tragbaren Laserentfernungsmesser handeln oder um einen z.B. in ein Zielfernrohr oder Fernglas integrierten Rangefinder. Diese Systeme finden Absatz etwa bei Golfspielern, die damit ihr Handicap verbessern wollen, oder bei Jägern, um ihr Ziel genau ins

Visier zu nehmen. Sorgen um ihr Augenlicht brauchen sie sich auch nicht zu machen, weil 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 berüh-



Abstands- und Relativgeschwindigkeits-Messung im Automobilbereich



Funktionsprinzip der Pulslaufzeit

strahlunglos arbeitenden Prinzip lassen sich Abstände und Geschwindigkeiten von einigen Zentimetern bis Kilometern messen.

Pulslaufzeit – Das Funktionsprinzip

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

»Der Vorteil dieses Verfahrens ist die geringe Reaktionszeit«, so der Experte. »Der Messbereich beim TOF liegt zwischen 1 Meter und mehreren 10 Kilometern. Der Nachteil ist die erforderliche Messung in sehr kurzen Zeitabständen, Nano- bis Pikosekunden. Daher ist es schwierig, eine höhere Auflösung als einige Zentimeter zu erreichen. Um die Anforderungen an die Zeitmessung zu verringern, setzt man Verfahren ein, bei denen der Laserstrahl selber frequenzmoduliert oder mit einem hochfrequenten Signal moduliert wird.«

Der Laser als Sender

»Die meisten Laserdioden sind darauf ausgelegt, eine optische Dauerstrichleistung von einigen mW bis zu mehreren Watt abzu-

strahlen«, fährt Reeb fort. »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 von typisch 0,1 Prozent 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 u.a. besonderer Schaltungstransistoren und kurzer Leitungsführung.

»Bei der Auswahl der Impuls Laserdiode ist die emittierende Wellenlänge ein wichtiges Kriterium«, betont Reeb. »Abhängig vom verwendeten Basismaterial der aktiven Schichten lassen sich unterschiedliche Emissionswellenlängen erzeugen. Für die Laserentfernungsmesser im Consumer-, 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.«

»Multi-Junction« Technologie für höchste Leistungen

Als Material nutzt man AlGaAs (Aluminiumgalliumarsenid). Die AlGaAs-Struktur der 905-nm-Laserdioden ist seit langem für ihre Zuverlässigkeit, Strahleigenschaften und Temperaturstabilität bekannt. Bei einer Effizienz von 1 W/A erreichen die Einzelemittler bis zu 40 W. »Höhere Leistungen lassen sich mit der von Laser Components entwickelten ‚Multi-Junction‘-Technologie erzielen«, so Reeb. »Dabei werden in einem Chip mehrere Laserdioden epitaktisch gestapelt, so dass der Abstand zwischen zwei Emittlern lediglich ca. 4 µm beträgt. Hierdurch kann man aus einer Diode, abhängig von der Streifenlänge, bis zu 75 W gewinnen. Höhere Spitzenleistungen erreicht man nur durch Stapelaufbauten: Spitzenleistungen von 220 W bei einer Pulslänge von 100 ns, bei kürzeren Pulsen sind auch Lichtblitze von über 400 W möglich.«

Neben der Wellenlänge und den elektrooptischen Spezifikationen ist nach Überzeugung des Experten auch 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«, führt Reeb aus. »Dabei können die PLDs bei kurzen Pulsen von einigen ns oder bei kleinen Wiederholfrequenzen deutlich übersteuert werden, ohne 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 über Jahre hinweg.«

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

- Das 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 bis 1100 nm empfindlich und haben bei ca. 900 nm ihre maximale Empfindlichkeit. Die Lebensdauer bei diesen Bauteilen ist unkritisch. Bei korrekter Handhabung unterliegen die Avalanche Photodioden fast keiner Alterserscheinung. ▶

Messtechnik

»Bei konventionellen PIN-Photodioden erzeugen einfallende Photonen Elektron-Loch-Paare, auch als Ladungsträger bezeichnet, die einen messbaren Photostrom liefern«, erklärt Reeb. »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 Ladungswave 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.«

APD oder PIN-Diode?

Um das Leistungsvermögen einer APD mit einer PIN-Diode zu vergleichen, reicht es nach Überzeugung des Experten nicht aus, alleine das Rauschen der Detektoren zu vergleichen. Entscheidend sei das Signal-Rausch-Verhältnis des gesamten Systems. »Bei PIN-Dioden muss man immer auch den zugehörigen Vorverstärker bei der Beurteilung berücksichtigen, dessen Rauscheigenschaften u.a. frequenzabhängig sind«, so Reeb. »Eine APD ist einer PIN-Diode immer dann überlegen, wenn die APD den Signallevel deutlich verstärken kann, ohne dabei das Gesamtgeräusch des Systems signifikant zu erhöhen. APDs werden dort bevorzugt, wo geringe Lichtintensitäten bei mittleren oder hohen Frequenzen detektiert werden.

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

Dabei ist die interne Verstärkung optimal gewählt, wenn das Detektorgeräusch ungefähr gleich

dem Eingangsruschen des nachfolgenden Verstärkers oder Lastwiderstands ist, so dass die APD das Systemgeräusch nicht beeinträchtigt.«

Auf die Anwendung bezogen erreicht eine APD durch die interne Verstärkung von ca. 10 bis 1000 eine Verbesserung des Signalrauschverhältnisses um 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. Daher

sollte man sorgfältig prüfen, welche Möglichkeiten es gibt, um die Bandbreite zu reduzieren.

Um Rauschen durch Umgebungs- oder Streulicht zu vermeiden, muss auf der Empfängerseite ein geeigneter optischer Bandpassfilter vorhanden sein. Auch hier bietet Laser Components mit der SARF500F2 eine High-end/Low-cost-Lösung für die Kombination mit den 905-nm-Impuls-laserdioden an. Bei der SARF-Serie ist ein 905-nm-Bandpassfilter bereits im kleinen TO-Gehäuse inte-

griert. Der 230- oder 500-µm-APD-Chip ist ebenfalls für 905 nm konzipiert, so dass eine optimale Performance bei 905 nm garantiert ist. Für die unmittelbare Integration des Filters in das Gehäuse sprechen: Kostenersparnis, weil 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 TO46- oder als SMD-Gehäuse gefertigt. (nk)