

Laserquellen

Impuls der Zeit – Puls Laserdioden für industrielle Anwendungen

Winfried Reeb,
Laser Components GmbH, Olching

Puls Laserdioden, oder auch gepulste Laserdioden, hatten ihr ursprüngliches Einsatzgebiet in militärischen Applikationen. Aufgrund der sehr kurzen Pulse mit hoher optischer Ausgangsleistung sind sie geradezu prädestiniert zur Entfernungsmessung. Durch verbesserte und kostengünstigere Herstellungsprozesse haben sich Puls Laserdioden auch in der Messtechnik und in medizinischen Anwendungen durchgesetzt. Einige wenige Hersteller bieten bereits preiswerte Laserdioden an, mit denen kurze, aber kräftige Lichtblitze von über 120 W möglich sind.

1 Funktionsprinzip

Die meisten Laserdioden sind darauf ausgelegt, eine optische Dauerstrichleistung (cw, continuous wave) von einigen mW bis zu mehreren Watt abzustrahlen. Diese Laserdioden dürfen nur sehr begrenzt übersteuert werden. Übersteigt die optische Leistung auch nur für kurze Zeit den spezifizierten Höchstwert, zerstört das starke Licht den Resonator im Halbleitermaterial der Diode, die dann praktisch zur LED degeneriert.

Puls Laserdioden sind dagegen für kurze, kräftige „Überlastungen“ ausgelegt. Damit diese Spitzenleistungen möglich werden, müssen die Dioden mit einem sehr geringen Tastverhältnis (duty cycle) von typisch 0,1% angesteuert werden. Einem Puls von z.B. 100 ns folgt entsprechend eine „Pause“ von 100 µs. Um Pulsfolgen im kHz-Bereich zu erhalten, muss der optische Impuls also sehr kurz sein. Die hierfür entscheidende Dauer des optischen Pulses darf maximal bei einigen 100 ns liegen. Hierzu muss die Diode mit einem starken Stromimpuls (im ein- bis zweistelligen Amperebereich) mit einer Dauer von ebenfalls maximal einigen 100 ns betrieben werden. Das Erzeugen solcher Stromimpulse ist keine einfache Aufgabe. Dazu bedarf es unter anderem besonderer Schalttransistoren und kurzer Leitungsführung (**Bild 1**).

2 Struktureller Aufbau

Die ersten Halbleiterlaser bestanden aus hochdotiertem GaAs mit einem einfachen p-n-Übergang. Wird diesen Dioden ein

Photonik 3/2004

Strom zugeführt, erwärmt sich der Kristall so sehr, dass eine technische Verwendung bei Raumtemperatur nicht möglich ist. Verbesserungen brachten Laserdioden mit Heterostruktur. Hier kann das aktive Gebiet durch Halbleitermaterial mit größerer Bandlücke und niedrigem Brechungsindex begrenzt werden. Die größere Bandlücke dient hierbei als Potentialbarriere zur Führung der injizierten Ladungsträger. Durch Schichten mit niedrigem Brechungsindex wird eine Art Wellenleiter geschaffen. Beides führt zu einer Herabsetzung der Laserschwelle und zu einer besseren Effizienz. Bei einer Doppelheterostruktur (double heterostructure) wird die aktive Schicht (z.B. GaAs) durch zwei Schichten mit größeren Bandlücken (z.B. AlGaAs) eingeschlossen (**Bild 2**). Die eingeschlossenen Schichten besitzen Dicken im µm- oder im sub-µm-Bereich.

Sind die Schichtdicken vergleichbar mit der Ausdehnung der quantenmechanischen Wellenfunktion der Ladungsträger, spricht man von einer Quantengrabenstruktur (quan-

tum well structure). Bei diesen Dioden hat die Potentialmulde eine derart geringe Breite (<10 nm), dass sich die Ladungsträger nur noch in einer Ebene bewegen können. Dies führt zu einer Quantelung oder Diskretisierung der Energiezustände, welche die Ladungsträger einnehmen können.

Quantengraben werden in Halbleitermaterialien mit Heterostruktur realisiert, z.B. in GaInAsP/GaInAs oder AlGaAs/GaAs. Hat man mit einer Doppelheterostruktur einen einzelnen Quantengraben erzeugt, so spricht man von single quantum well (SQW). Liegen mehrere Quantengraben dicht nebeneinander, bezeichnet man die Struktur als multiple quantum well (MQW). Auf der Grundlage von Quantengraben lassen sich sehr effiziente Laserdioden herstellen.

3 Eigenschaften

Abhängig vom verwendeten Material der aktiven und passiven Schichten lassen sich Laserdioden mit unterschiedlichen Emissi-



Bild 1: Typische Beschaltung einer Puls Laserdiode

Laserquellen

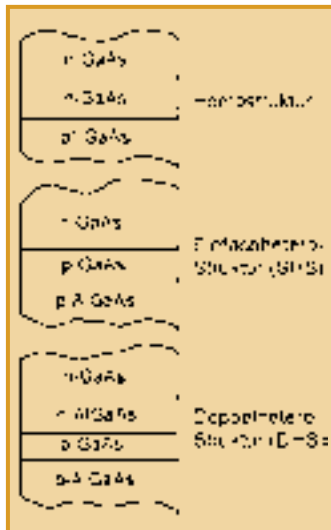


Bild 2: Homo- und Heterostrukturen als Grundlage für Laserdioden

onswellenlängen herstellen. Im Markt etabliert haben sich die Standard-Wellenlängen 850-870 nm, 905 nm und 1550 nm. 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 bis zu 40 W, und die Stapelaufbauten Spitzenleistungen von 120 W bei einer Pulslänge von 150 ns. Lieferform ist wahlweise ein hermetisch dichtes Metallgehäuse (TO-18, 5,6 mm, 9 mm, Koax) oder eine kostengünstige Kunststoffausführung (**Bild 3**).

Für den mittleren IR-Bereich stehen Puls-laserdioden mit 1550 nm zur Verfügung. Hier spricht man auch von augensicheren Dioden, da bei einer Wellenlänge von 1550 nm die Strahlung im Auge weitestgehend vor Erreichen der Netzhaut absorbiert wird und diese somit kaum schädigen kann. Als Basismaterial dient InP mit einigen zusätzlichen InGaAsP-Schichten, die sowohl im MBE-Verfahren (molecular beam epitaxy) hergestellt werden können, als auch mittels MOCVD (metal organic chemical vapor deposition). Bei einer Effizienz von 0,35 W/A erreichen die Stack-Ausführungen Spitzenleistungen von 60 W bei einer Pulslänge von 150 ns. Auf Grund der thermischen Belastung werden diese Dioden ausschließlich im TO-18 oder 9mm-Gehäuse geliefert.

4 Anwendungen

Auch die schnellen Photonen brauchen eine bestimmte Zeit, um die Strecke Sender-Ziel und zurück zum Empfänger zu durchlaufen. Da sich bei bekanntem Brechungsindex die Lichtgeschwindigkeit im Ausbreitungsmedium leicht aus der Vakuumlichtgeschwindigkeit berechnen lässt, ist die Laufzeit (time of flight) des Lichtpulses ein direktes Maß für die Zieldistanz. Eine Hauptanwendung für die Entfernungsbestimmung nach der Pulslaufzeit sind Laserradar pistolen (laser speed guns). Mit Hilfe von leistungsstarken ns-Laserpulsen mit Leistungen von einigen 10 W wird die Geschwindigkeit von Fahrzeugen bis 250 km/h überwacht. Dabei kann der Abstand zwischen dem fest installierten oder mobilen Lasergeschwindigkeits-Messsystem und dem vorbeisenden Fahrzeug bis zu 1000 m betragen. Die Geschwindigkeit wird dabei mit einer Genauigkeit von 1 bis 3 Prozent ermittelt.

Diese „Anwendung aus Flensburg“ ist Ihnen zu teuer? Dann eine andere: Der Wilderer im Silberwald nimmt mit seinem Laserzielfernrohr einen Hirsch in Visier und hat dabei ein ruhiges Gewissen. Denn weder der Hirsch, den er gerade auf's Korn nimmt, noch unbeteiligte Zeugen, müssen sich um ihr Augenlicht sorgen: Der Halbleiterlaser in der Zieloptik erfüllt die Bestimmungen der Laser-schutzverordnung, Klasse 1. Innerhalb einer Sekunde liefert das System seinem Benutzer die Entfernung zum ausgewählten Ziel, bis 600 m auf 2 m genau, was dazu beiträgt, dass sich der Hirsch bald um überhaupt nichts mehr sorgen muss. Dieses Beispiel einer Laser-Entfernungsmessung ist Ihnen zu brutal? Dann noch einige andere: Golfspieler versuchen, mit

Laser-„Rangefindern“ ihr Handicap zu verbessern. Autofahrer werden gewarnt, wenn sie sich einem Hindernis mit zu hoher Geschwindigkeit nähern oder zu dicht auf den Vordermann auffahren (**Bild 4**). Entfernungsmesser und Distanzsensoren dienen auch als Navigationshilfe beim Andocken von Schiffen, als Wolkenhöhenmessgeräte an Flugplätzen, zur geodätischen Vermessung im Stadt- und Freilandgebiet, bei der Profilmessung von Steinbrüchen oder Abraumhalden, oder zur Höhenmessung von Gebäuden, Bäumen und anderen Objekten. In der Sicherheitstechnik erzeugen Puls-laserdioden einen scannenden Lichtvorhang im Zusammenspiel mit hochemfindlichen Photodioden (APDs), wenn für einen „normalen“ Lichtvorhang mit LEDs und PIN-Dioden kein Platz in der Fertigungshalle ist. Sie dienen dann als Schutzfunktion, sobald sich Mitarbeiter dem Gefahrenbereich nähern. Mediziner verwenden sie zur Akupunktur und für blut- und schmerzstillende Geräte.

5 Zuverlässigkeit

Wie das menschliche Herz kann auch eine Puls-laserdiode im Laufe ihres „Lebens“ nur eine bestimmte Anzahl an Pulsen machen. Entscheidend für Alterung und Lebensdauer



Bild 3: Puls-laserdioden in verschiedenen Gehäuseformen

Photonik 3/2004

Laserquellen

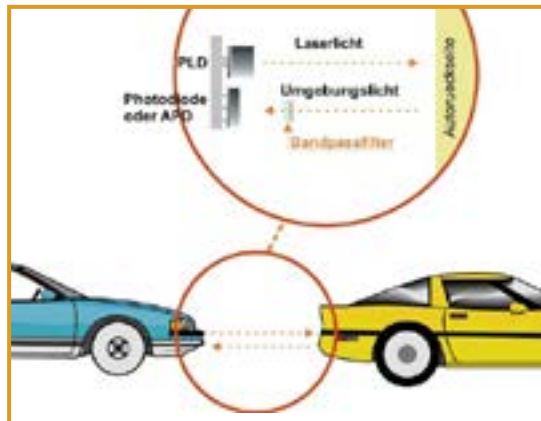


Bild 4:
Abstands- und
Relativgeschwin-
digkeitsmessung
im Automobil-
bereich

er sind sowohl die optischen Eigenschaften des Halbleiters als auch die Ansteuerungs- und Umgebungsbedingungen. Der Systemingenieur muss anhand der Anwendung und der von ihr geforderten Lebensdauer die geeignete Laserdiode und Ansteuerung auswählen. Während für militärische Applikationen wie das optische Zünden von Thyristoren eine Lebensdauer von weniger als einer Stunde ausreicht, wird für Sicherheits-Scanner in der Industrie ein garantierter Einsatz 24 Stunden am Tag über Jahre hinweg gefordert.

Basierend auf Messungen und jahrelangen Erfahrungen wird für die mittlere Ausfallrate folgende empirische Formel verwendet:

$$MTTF = 4,5 \cdot 10^{19} \cdot \{P_o/L\}^6 \cdot t_w^{-2} \cdot F^{-1} \cdot f(T)$$

Dabei gilt:

| | | |
|--------|------------------|--|
| MTTF | in Stunden | (mean time to failure) |
| P_o | in mW | (optische Spitzenleistung) |
| L | in μm | (Länge des Emitters) |
| t_w | in ns | (Pulslänge) |
| F | in kHz | (Wiederholfrequenz) |
| $f(T)$ | = 1 bei 25°C | (Multiplikator, abhängig von der Gehäuse-temperatur) |

Beispiel: Bei Raumtemperatur wäre ein typischer Wert für eine 4 W Pulsaserdiode mit 75 μm Emitterlänge, 100 ns Pulsdauer und 10 kHz Wiederholrate eine Lebenserwartung von 19553 Betriebsstunden. Erhöht man die Leistung bei gleichen Parametern auf 6 Watt, reduziert sich die Lebenserwartung auf 1717 Stunden. Einen ebenso starken Einfluss wie P_o hat der Parameter L: Eine Halbierung der Leistung führt genauso wie eine Verdoppelung der Emitterlänge zu einer 64fach höheren MTTF.

6 Zusammenfassung

Für eine Reihe von Anwendungen in der Optoelektronik werden kurze, kräftige Laserpulse benötigt, die sich mit CW-Laserdioden nicht oder nicht wirtschaftlich erzeugen lassen. Für diesen Nischenmarkt bieten einige Hersteller Pulsaserdioden mit Emission bei 850 nm, 905 nm und 1550 nm an. Abhängig von den Systemanforderungen und der benötigten Lebensdauer werden Einzelemitter oder Stapelaufbauten eingesetzt.

Literaturhinweise:

- [1] Lexikon der Optoelektronik (Laser Magazin 1/96-1/2000)
- [2] Application Report No. MNEO-99-TR-001 on the reliability of pulsed semi-cond. lasers, EG&G

Ansprechpartner:

Winfried Reeb
Salesmanager
Laser Components GmbH
Werner-von-Siemens-Str. 15
D-82140 Olching
Tel. 08142/2864-42
Fax 08142/2864-11
eMail: w.reeb@lasercomponents.com
Internet: www.lasercomponents.com

