



Ultrakompakte Kühler für optische Transceiver der neuesten Generation

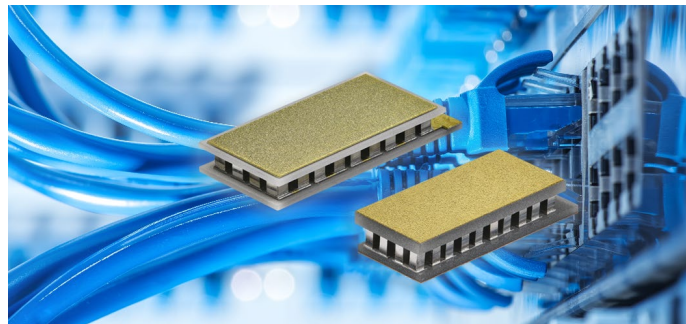
Laird Thermal Systems™ Applikationshinweis

Inhalt

Einleitung	2
Technologieübersicht	3
Anwendungsübersicht	3
Arten von Laserdioden in Telekommunikationsanwendungen	4
Gehäuse für Laserdioden	4
Leistung von Laserdioden	5
Herausforderungen bei der Kühlung von Laserdioden	6
Kühlmethoden	6
Warum ultrakleine oder Mikro-TECs?	7
Implementierung	8
Fazit	9
 Über Laird Thermal Systems	 10
Kontakt Laird Thermal Systems.	10

Einleitung

Die Glasfasertechnologie hat das Kupferkabel in der Daten- und Telekommunikationsbranche weitgehend ersetzt. Neue Anwendungen wie künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen erfordern höhere Geschwindigkeiten und Bandbreiten bei der Datenübertragung über große Entfernungen – und das zu geringeren Kosten. In vielen Anwendungen verbessert die Temperaturstabilisierung die Leistung und Lebensdauer kritischer optoelektronischer Komponenten, die in faseroptischen Systemen unverzichtbar sind. IDieser Anwendungshinweis befasst sich mit Laserdioden, die häufig in Telekommunikationsanwendungen eingesetzt werden, und zeigt, wie ultrakleine thermoelektrische Kühler (TECs) die im Laserdiodengehäuse erzeugte Wärme abführen können, um die Gesamtleistung zu optimieren.



Thermoelektrische Mikrokühler leiten die im Laserdiodengehäuse erzeugte Wärme ab und optimieren so die Gesamtleistung.

Technologieübersicht

Laserdioden sind eine wichtige Komponente bei der Entwicklung und beim Ausbau von Glasfasernetzen. In Glasfaserkommunikationssystemen werden Laserdioden als Lichtquelle verwendet, um Daten über Glasfaserkabel zu übertragen. Der von der Laserdiode erzeugte Lichtstrahl kann auf einfache Weise in ein Glasfaserkabel eingekoppelt werden, wo er über große Entfernungen mit minimaler Abschwächung oder Signalverlust übertragen wird. Laserdioden sind die Technologie der Wahl für optoelektronische Anwendungen, da sie klein sind, wenig Strom verbrauchen und hohe Geschwindigkeiten ermöglichen. Eine Laserdiode ist ein Lasertyp, der aus einem Halbleitermaterial wie Galliumarsenid (GaAs) oder Indiumgalliumarsenid (InGaAs) besteht. Im Gegensatz zu anderen Lasertypen, die ein Gas oder eine Flüssigkeit als aktives Medium verwenden, nutzen Laserdioden ein Halbleitermaterial zur Lichterzeugung.

Anwendungsübersicht

Laserdioden werden in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt, darunter Telekommunikation, Datenkommunikation, LIDAR, 3D-Sensorik, Gesundheitswesen, additive Fertigung, Gesichtserkennung und viele mehr. Nach Angaben von [Mordor Intelligence](#) wurde der globale Markt für Laserdioden im Jahr 2020 auf 8,84 Mrd. USD geschätzt und wird bis 2026 voraussichtlich 16,25 Mrd. USD erreichen, wobei zwischen 2021 und 2026 ein kumuliertes

jährliches Wachstum von 11,2 % erwartet wird. Einige häufige Anwendungen von Laserdioden in der Telekommunikation sind:

- Steckbare optische Transceiver: Laserdioden, die in der Regel in das Transceiver Modul eingebaut sind, senden einen Lichtstrahl mit einer bestimmten Wellenlänge aus, der in ein Glasfaserkabel eingekoppelt wird, um eine Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung über große Entfernungen zu ermöglichen
- Wellenlängen-Multiplexsysteme (WDM): Laserdioden werden eingesetzt, um mehrere optische Signale auf eine einzige Faser zu multiplexen und so die Bandbreite der Glasfaser effizient zu nutzen.
- Optische Verstärker: Laserdioden werden eingesetzt, um die Signalstärke von optischen Signalen für die Übertragung über größere Entfernungen zu erhöhen

Arten von Laserdioden in Telekommunikationsanwendungen

Für Telekommunikationsanwendungen werden üblicherweise mehrere Arten von Laserdioden verwendet. Die Auswahl der Laserdiode hängt von den spezifischen Anforderungen der Telekommunikationsanwendung ab, darunter Entfernung, Datenrate, verfügbare Bandbreite, Stromverbrauch, Wellenlänge und die Abwägung zwischen Leistung, Kosten und Zuverlässigkeit. Nachstehend sind einige Beispiele für Laserdioden in Telekommunikationsanwendungen aufgeführt:

- Fabry-Perot-Laserdioden (FP): Laserdioden, die häufig in faseroptischen Übertragungssystemen als Lichtquelle für modulierte optische Signale verwendet werden.
- Laserdioden mit verteilter Rückkopplung (DFB): Diese Laserdioden nutzen eine Gitterstruktur, die als Rückkopplungsmechanismus zur Steuerung der Wellenlänge des Laserlichts dient. DFB-Laserdioden werden in Anwendungen eingesetzt, die eine schmale und stabile Laserwellenlänge erfordern, z. B. in Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)-Systemen in optischen Kommunikationsnetzen.
- Vertical cavity surface emitting lasers (VCSELs): Eine Art von oberflächenemittierenden Laserdioden (SELs), die ihr Licht vertikal von der Oberfläche der Diode ausstrahlen. VCSELs werden in Anwendungen eingesetzt, die kostengünstige, schnelle und hocheffiziente Laser erfordern, z. B. in optischen Kommunikationssystemen, Verbindungen in Rechenzentren sowie in der faseroptischen Sensorik.
- Kohärente Laserdioden: Sie erzeugen eine schmale und stabile Linienbreite, wodurch sie sich für kohärente optische Kommunikationssysteme eignen, die beim maschinellen Lernen und Big-Data-Anwendungen eingesetzt werden
- Pump laser: Diese werden in optischen Verstärkern, z. B. Erbium-dotierten Faserverstärkern eingesetzt, um ein optisches Signal zu verstärken. Seekabel und Relaisstationen in der Glasfaserkommunikation verwenden Laserpumpen zur Signalverstärkung.

Gehäuse für Laserdioden

Laserdiodengehäuse sind dafür ausgelegt, die Laserdiode hermetisch abzudichten, passiv zu kühlen und mit optischen und elektrischen Anschlüssen zu versehen. Die Auswahl des jeweiligen Gehäuses hängt von den Anforderungen der Telekommunikationsanwendung ab, z. B. von der Funktion, der Leistung, den Umgebungsbedingungen und dem zur Verfügung

stehenden Platz. Einige Beispiele für häufig verwendete Diodengehäuse für Telekommunikationsanwendungen sind:

- Butterfly-Gehäuse: das kompakte und kostengünstige Gehäuse ist nach seiner charakteristischen Form benannt, die an einen Schmetterling erinnert. Es besteht in der Regel aus einem Metallgehäuse, das der Laserdiode mechanischen Halt und Kühlung bietet.
- TO-Gehäuse: ein zylindrisches Gehäuse, das eine gute thermische Leistung und ein hohes Maß an mechanischer Stabilität bietet.
- TOSA-Gehäuse: eine optische Sender-Unterbaugruppe, die ein Signal in ein optisches Signal umwandelt, das in ein Glasfaserkabel eingekoppelt wird.
- ROSA-Gehäuse: eine optische Empfänger-Unterbaugruppe, die ein optisches Signal von einer Faser empfängt und in ein elektrisches Signal zurückverwandelt.
- BOSA-Paket: eine bidirektionale optische Unterbaugruppe, die sowohl aus einem TOSA als auch aus einem ROSA besteht
- Pigtail-Gehäuse: ein Gehäuse, das eine einfache und unkomplizierte optische Verbindung bietet. Das Gehäuse besteht aus einer Laserdiode, die auf einem Gehäuse mit einer Anschlussfaser montiert ist.
- Multi-Source-Agreement (MSA)-Gehäuse: ein Gehäuse, das die Kompatibilität zwischen verschiedenen Komponenten und Systemen gewährleistet und so die Integration von Laserdioden in ein Telekommunikationsnetz erleichtert

Leistung von Laserdioden

Die Leistung einer Laserdiode wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst, darunter Temperatur, Stromstärke und optische Leistung. Temperaturschwankungen können zu Veränderungen der elektrischen und optischen Eigenschaften der Laserdiode führen, was ihre Leistung beeinträchtigen kann. Auch der Dauerbetrieb bei hohen Temperaturen kann die Lebensdauer des Bauelements verkürzen.

Die Betriebstemperatur einer Laserdiode hängt von mehreren Faktoren ab, z. B. vom Typ der Laserdiode und des Gehäuses, von der Leistung der Laserdiode sowie von den Betriebsbedingungen. Standard-Laserdioden für Telekommunikationsanwendungen arbeiten im Temperaturbereich zwischen -10 °C und 85 °C, wobei Laserdioden in neuen optischen Bauelementen auch bei höheren Temperaturen arbeiten können. Neu aufkommende Telekommunikationsanwendungen, die mehr als 400 Gb/s benötigen, erfordern neue optische Bauelemente und einen erweiterten maximalen Temperaturbereich.

Bei Temperaturen außerhalb des maximalen Betriebsbereichs kann die Leistung einer Laserdiode aufgrund des erhöhten Wärmewiderstands und der geringeren Stromverstärkung abnehmen. Dies kann zu einer verringerten Ausgangsleistung und einem erhöhten Schwellenstrom des Lasers führen. Hohe Temperaturen können zudem die Wellenlänge einer Laserdiode verändern, was sich auf ihre Leistung und Zuverlässigkeit auswirkt. Die Verschiebung der Wellenlänge wird durch Änderungen des Brechungsindex des in der Laserdiode verwendeten Halbleitermaterials verursacht. In einigen Fällen kann eine starke Verschiebung der Wellenlänge zu erheblichem Übersprechen (Interferenzen) oder sogar zum Ausfall der Laserdiode führen. Beispielsweise emittiert eine DFB-Laserdiode, die in einer optischen Kommunikationsanwendung eingesetzt wird, typischerweise Licht mit einer

Wellenlänge von etwa 1260-1650 nm. Ein Temperaturanstieg führt zu einer Verschiebung der Spitzenwellenlänge (hin zu größeren Wellenlängen) von etwa 0,1 nm/°C.

Bei Temperaturen außerhalb des maximalen Betriebsbereichs kann die Leistung einer Laserdiode aufgrund des erhöhten Wärmewiderstands und der geringeren Stromverstärkung abnehmen. Dies kann zu einer verringerten Ausgangsleistung und einem erhöhten Schwellenstrom des Lasers führen. Allerdings können niedrige Temperaturen außerhalb des Mindestbetriebsbereichs auch zu einer verringerten Photonenlebensdauer, erhöhten Rekombinationsverlusten und höheren internen Verlusten führen, was die Vorteile eines geringeren Wärmewiderstands wieder aufheben kann.

Ein weiteres Problem, das auf Temperaturschwankungen zurückzuführen ist, ist das Übersprechen. Dies tritt bei Kommunikationsverbindungen über große Entfernungen auf, die eine hohe Bandbreite erfordern. Ein Beispiel dafür sind Hyperscale-Rechenzentren mit optischen Transceivern, die Wellenlängenmultiplexing nutzen, um den Datendurchsatz in Glasfaserkabeln zu erhöhen, indem mehrere Datenströme parallel kombiniert werden. (IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, August 2022)

Die Temperatur einer Laserdiode muss stabil gehalten werden, um eine gleichbleibende Wellenlänge zu gewährleisten, Übersprechen zu verhindern und eine zuverlässige Leistung sicherzustellen. Dies kann durch Temperaturregelungssysteme mit thermoelektrischer Kühlung erreicht werden.

Herausforderungen bei der Kühlung von Laserdioden

Das Wärmemanagement von Laserdioden ist anspruchsvoller als je zuvor. Immer mehr Daten werden mit höherer Geschwindigkeit übertragen, die Leistungsdichte nimmt weiter zu und die Formfaktoren werden immer kleiner. Dies führt zwangsläufig zu höheren Wärmestromdichten. Der Bedarf an effektiven und effizienten Wärmemanagementlösungen ist entscheidend, um die Leistung und Lebensdauer von Laserdioden zu gewährleisten.

Kühlmethoden

Zur Temperaturregelung von Laserdioden werden verschiedene Methoden angewendet:

- **Aktive Kühlung:** Bei der aktiven Kühlung, die häufiger für die Datenübertragung auf Server- oder Switch-Ebene verwendet wird, kommen Gebläse, Kühlkörper, Flüssigkeitskühler oder thermoelektrische Kühler zum Einsatz, um die Wärme aus dem Laserdiodengehäuse abzuführen. Dazu wird die Laserdiode üblicherweise auf einem Kühlkörper montiert und ein Lüfter verwendet, um die von der Laserdiode erzeugte Wärme an die Umgebungsluft abzuleiten. Ein thermoelektrischer Kühler (TEC) ist ein Bauelement, das einen kleinen Bereich kühlen oder erwärmen kann, indem es elektrische Energie in thermische Energie umwandelt. Der thermoelektrische Kühler kann zur Kühlung der Laserdiode verwendet werden, indem er die Wärme von der Laserdiode ableitet und in das optische Gehäuse abführt, das dann die Wärme an die Umgebung abgibt.
- **Passive Kühlung:** Diese basiert auf natürlicher Konvektion oder Wärmeleitung, um die Wärme von der Laserdiode abzuleiten. Beispielsweise kann ein Kühlkörper an der

Laserdiode angebracht werden, um die von der Laserdiode erzeugte Wärme aufzunehmen und abzuführen.

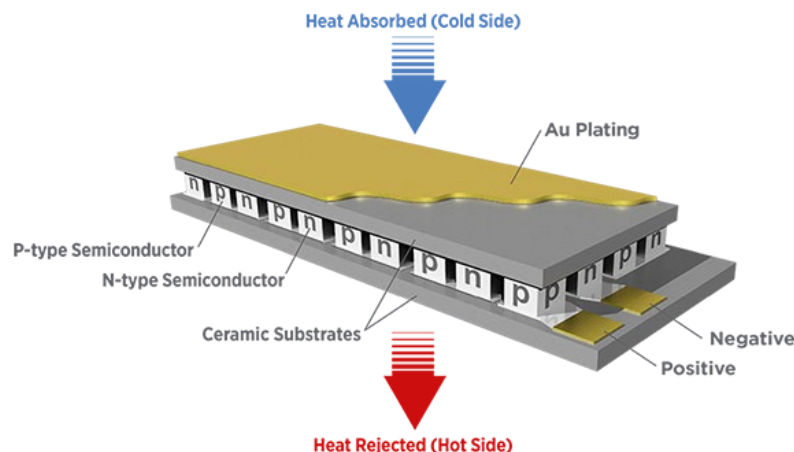
- Temperaturregler: elektronische Schaltkreise zur Regelung der Temperatur der Laserdiode durch Anpassung des Stroms und/oder der Spannung, die der Laserdiode zugeführt werden. Der Temperaturregelkreis kann so ausgelegt sein, dass die Temperatur der Laserdiode auf einem konstanten Wert gehalten wird oder die Temperatur je nach den gewünschten Betriebsbedingungen verändert wird.

Warum ultrakleine oder Mikro-TECs?

Fortschritte bei Laserdioden erfordern auch Fortschritte im Wärmemanagement. Laserdioden erzeugen mehr Wärme, wenn der Datendurchsatz steigt und der Abstand zwischen den Verbindungspunkten zunimmt. Daher benötigen Laserdiodengehäuse eine höhere Wärmepumpleistung, um die Wärme weg von der empfindlichen Elektronik und aus dem Gehäuse zu leiten. Um die Wärme abzuführen, sind Mikro-TECs mit höheren Packungsanteilen und dünneren Profilen erforderlich, die die Effizienz verbessern und eine präzise Wellenlängensteuerung und Temperaturstabilisierung ermöglichen.

Neue thermoelektrische Materialien und hochpräzise Fertigungsverfahren haben die Entwicklung von Mikro-TECs mit niedrigeren Profilen ermöglicht. Dies ermöglicht die Fertigung von Laserdioden in kleineren Formfaktoren ohne Beeinträchtigung der thermischen Stabilität. Diese Materialien reagieren zudem effizienter auf Temperaturschwankungen, was für Anwendungen wichtig ist, die eine effiziente thermische Kontrolle erfordern, wie z. B. in optischen Kommunikationssystemen. Höhere Wirkungsgrade können die Leistung und Zuverlässigkeit der Laserdiode verbessern und höhere Datenübertragungsraten ermöglichen. Darüber hinaus können Mikro-TECs kostengünstig und mit hohem Durchsatz hergestellt werden, was zur Senkung der Gesamtkosten des Laserdiodensystems beiträgt.

Die neue **OptoTEC™ MBX**-Serie von Laird Thermal Solutions eignet sich ideal für die Temperaturstabilisierung von Laserdioden. Die im Vergleich zur OTX-Baureihe kleinere MBX-Serie erfüllt die Anforderungen moderner Laserdiodenanwendungen wie z.B. geringere Größe, geringere Leistungsaufnahme, höhere Zuverlässigkeit und niedrigere Kosten in der Massenfertigung. Diese Faktoren können die Leistung verbessern und die Zuverlässigkeit der Laserdiode erhöhen, und ermöglichen so Innovationen bei Telekommunikationsanwendungen der nächsten Generation.



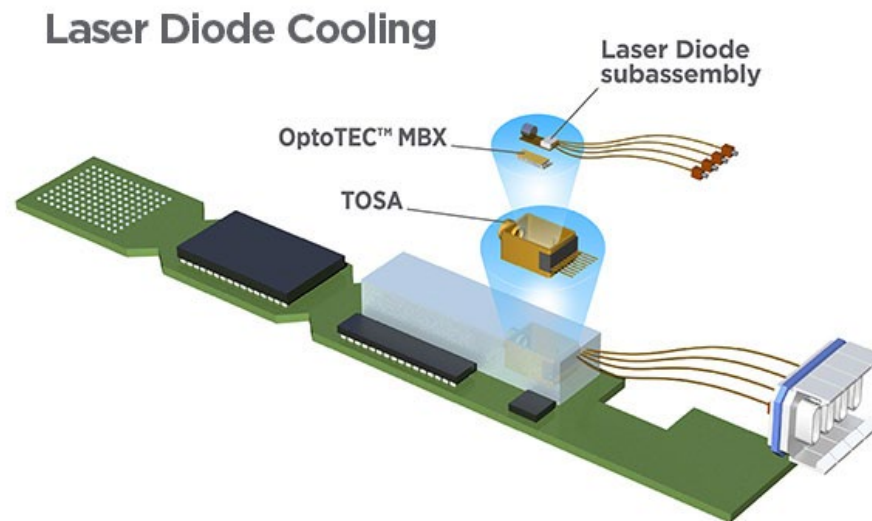
Implementierung

Die Temperaturstabilisierung ist eine wesentliche Herausforderung in der Praxis. Beispielsweise liegt der typische Betriebstemperaturbereich für eine Laserdiode zwischen 25 °C und 85 °C. Wenn das Bauelement in einer 85 °C-Umgebung eingesetzt und anschließend auf 25 °C abgekühlt wird, erreicht es bei einer Temperaturdifferenz von 60 °C mit minimaler Wärmepumpenkapazität fast die maximale Leistung. Da diese Anwendungen gekühlt werden müssen, muss die erforderliche Wärmeabfuhr effizient über Wärmeleitpfade mit geringem Wärmewiderstand im Gehäuse erfolgen. Um eine effiziente Wärmeabfuhr zu gewährleisten, sollten die folgenden Konstruktionsüberlegungen berücksichtigt werden:

- **Optimiertes TEC-Design:** Die Anforderungen der Anwendung müssen im gewünschten Betriebspunkt genau bekannt sein. Der Geometriefaktor, die Anzahl der Elemente und die Anzahl der Stufen müssen so optimiert werden, dass sie die Anforderungen hinsichtlich der Wärmeabfuhr vom Bildsensor und der passiven Wärmeverluste erfüllen. Die Wärmewiderstände der heißen und der kalten Seite müssen berücksichtigt werden, da sie die Temperaturdifferenz über den thermoelektrischen Kühler verringern.
- **Gehäusedesign:** Häufig wird das kostengünstigste Gehäuse mit dem kleinsten Formfaktor gewählt. Allerdings ist das Gehäuse der wichtigste Mechanismus zur Wärmeableitung und weist möglicherweise nicht die beste Wärmeleitfähigkeit auf. Mit zunehmender Verkleinerung des Formfaktors des Gehäuses steigt die Wärmestromdichte, sodass eine schlechte Wärmeableitung zu thermischem Durchgehen führen kann. Dies kann vermieden werden, indem das Gehäuse und die Wärmeleitfähigkeit des Materials so bemessen werden, dass die gesamte Wärme berücksichtigt wird, die vom TEC, dem Bildsensor und parasitären Wärmeverlusten abgeführt werden muss.
- **Schnittstelle zwischen TEC und Gehäuse:** Die Verlötbarekeit des TEC mit dem optischen Gehäuse ist von entscheidender Bedeutung, um eine ordnungsgemäße Wärmeabfuhr vom TEC zu gewährleisten. Eine schlechte Lötmittelehaftung führt zu Lötmittelaustritt, was den Wärmewiderstand auf der heißen Seite erhöht. Für die Oberflächen der Keramiksubstrate des TEC müssen geeignete Beschichtungsmaterialien in Kombination mit einer optimalen Löt konstruktion spezifiziert werden, um eine dünne Haftschiicht mit minimalen Löt-poren zu gewährleisten. Dadurch wird der Wirkungsgrad des TEC im Betrieb maximiert.
- **Parasitäre Verluste:** Passive Wärmeverluste können durch einen thermischen Kurzschluss zwischen der Heiß- und der Kaltseite des TEC entstehen. Die meisten Gehäuse sind hermetisch in einem Vakuum oder Gas eingeschlossen, so dass die Wärmeverluste durch passive Wärme in der Umgebung minimiert werden. Allerdings sind die Zuleitungen zum TEC Bildsensor und zum NTC-Thermistor auf dem kalten Substrat des TEC anfällig für Wärmeübertragung durch die Anschlussdrähte. Dies führt dazu, dass der TEC mehr Strom verbraucht, um die gleiche Kühlleistung zu erzielen. Idealerweise sollte der TEC so ausgelegt werden, dass er mit einem geringeren Strom arbeitet, da dadurch die Dicke der Anschlussdrähte verringert und die Wärmeübertragung von den Anschlussdrähten reduziert werden

Nachdem die wichtigsten Entwurfsvariablen festgelegt wurden, wird der TEC durch einen Temperaturregelkreis gesteuert, der den dem TEC zugeführten Strom so anpasst, dass der Bildsensor auf der gewünschten Regeltemperatur gehalten wird. Weitere zu berücksichtigende Variablen sind die Substratmaterialien und die Löt konstruktion des TEC. Zwar existieren

Materialien mit höherer Wärmeleitfähigkeit und Löttaftung, die die Leistung, Wärmeausbreitung und Zuverlässigkeit erhöhen, doch müssen diese gegen die Kostenziele der Endanwendung abgewogen werden. Bei den meisten Anwendungen sind höhere Materialkosten bei hohen Stückzahlen nicht tragbar.



Fazit

Die optische Kommunikation war eine der treibenden Kräfte für die Entwicklung der Laserdiodentechnologie. Laserdioden spielen eine wichtige Rolle für die Zuverlässigkeit und Stabilität dieser Systeme. Jedoch können Temperaturschwankungen die Leistung einer Laserdiode beeinträchtigen, weshalb es wichtig ist, eine stabile Temperatur aufrechtzuerhalten, um eine konstante und zuverlässige Leistung zu gewährleisten. Hohe Temperaturen können die Leistung beeinträchtigen, während niedrigere Temperaturen die Leistung verbessern können, allerdings auch potenzielle Nachteile wie eine geringere Lebensdauer der Photonen mit sich bringen. Durch den Einsatz von Mikro-TECs in Laserdiodengehäusen können die Leistung und Lebensdauer von Laserdioden optimiert werden. TECs sind eine ideale Technologie zur Kühlung von Laserdioden, da sie eine hohe Kühlleistung, eine schnelle Reaktionszeit, eine kompakte Größe, Energieeffizienz, einen niedrigen Energieverbrauch bieten sowie eine einfache Temperaturregelung ermöglichen.

Weitere Informationen finden Sie unter <https://lairdthermal.com/de/products/thermoelectric-cooler-modules/micro-MBX-series>

Über Laird Thermal Systems

Laird Thermal Systems entwickelt Wärmemanagementlösungen für anspruchsvolle Anwendungen in den Bereichen Medizin, Industrie, Transport und Telekommunikation. Wir stellen eines der vielfältigsten Produktportfolios der Branche her, das von aktiven thermoelektrischen Kühlern und Baugruppen bis hin zu Temperaturreglern und Flüssigkeitskühlsystemen reicht. Unsere Ingenieure nutzen fortschrittliche thermische Modellierungs- und Managementtechniken, um komplexe Wärme- und Temperatursteuerungsprobleme zu lösen. Wir bieten ein breites Spektrum an Design-, Prototyping- und internen Testmöglichkeiten und arbeiten während des gesamten Produktentwicklungszyklus eng mit unseren Kunden zusammen, um Risiken zu reduzieren und die Markteinführung zu beschleunigen. Unsere weltweiten Fertigungs- und Supportressourcen helfen unseren Kunden, Produktivität, Betriebszeit, Leistung und Produktqualität zu maximieren. Laird Thermal Systems ist die optimale Wahl für standardmäßige oder kundenspezifische thermische Lösungen. Weitere Informationen finden Sie unter www.lairdthermal.com.

Kontakt zu Laird Thermal Systems

Haben Sie eine Frage oder benötigen Sie weitere Informationen über Laird Thermal Systems? Bitte kontaktieren Sie uns über die Website <https://lairdthermal.com/de/contact-us>

LTS-Ultrakompakte Kühler für optische Transceiver der neuesten Generation

Trademarks

© Copyright 2023 Laird Thermal Systems, Inc. All rights reserved. Laird™, the Laird Ring Logo, and Laird Thermal Systems™ are trademarks or registered trademarks of Laird Limited or its subsidiaries