

„Funkelnde“ Diodenlaser

Trapezverstärker hoher Brillanzen

Márc Kelemen und Patrick Friedmann

Diodenlaser hoher Leistung im unteren sichtbaren Bereich sind wesentlich aufwändiger und kostenintensiver in der Herstellung als Diodenlaser mit Wellenlängen im nahen Infrarot. Gerade dieser optische Bereich wird jedoch zunehmend interessant in vielen Gebieten der Mikroskopie und der Spektroskopie insbesondere in der Biophotonik. Durch Frequenzverdopplung von Diodenlasern im nahen Infrarot lassen sich Laser hoher Leistung im unteren sichtbaren Bereich konstruieren. Voraussetzung sind jedoch Diodenlaser hoher optischer Ausgangsleistung bei gleichzeitig sehr hoher Strahlqualität und schmaler Linienbreite. Die Trapezverstärker der Firma m2k-laser vereinigen auf einfache Weise alle diese Eigenschaften. Die Grundlage für diese Verstärker ist die Trapezlaser-Technologie.

Brillanz für doppelte Frequenz

Bei Bestrahlung eines nichtlinearen optischen Mediums wie z. B. LiNbO₃ mittels eines Lasers kann Strahlung mit der doppelten Frequenz, also der halben Wellenlänge, entstehen. Mit dieser Frequenzverdopplung lässt sich mit Diodenlasern im nahen Infrarot, die besonders einfach und kostengünstig herzustellen sind, wesentlich einfacher Licht im unteren sichtbaren Bereich (violett-blau-grün) erzeugen als durch entsprechende Diodenlaser. Typische Anwendungen liegen in der Mikroskopie, der Biophotonik und der Raman-Spektroskopie. Die Lichtquellen auf der Basis von Diodenlasern für Systeme zur Frequenzverdopplung müssen eine Reihe von Anforderungen erfüllen: hohe Strahlqualität bei gleichzeitig möglichst hoher Ausgangsleistung und einem mög-

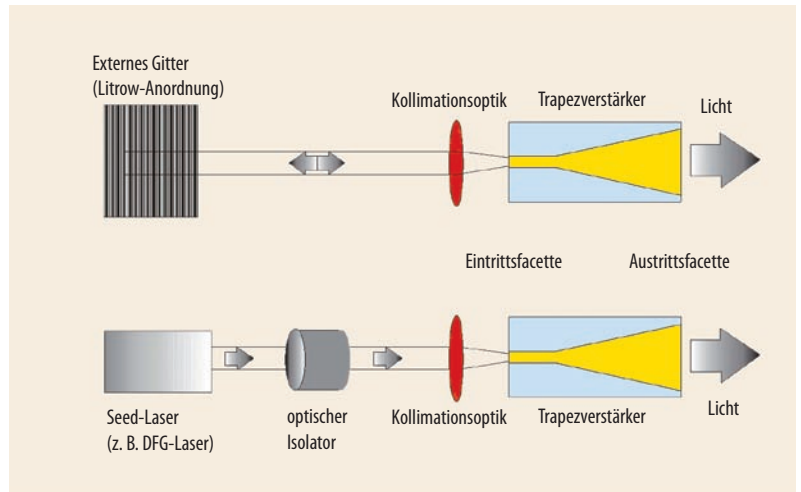


Abb. 1 Ein Diodenlaser lässt sich mit externem Resonatorsystem (oben) oder nachverstärktem Seedlaser (unten) auf-

bauen, jeweils basierend auf einem Trapezverstärker.

lichst schmalen spektralen Emissionsspektrum. Die Strahlqualität beschreibt die erreichbare Leistungsdichte des Diodenlasers durch Fokussierung. Die Kombination aus optischer Leistung und Strahlqualität wird durch den Begriff Brillanz beschrieben.

Technisch lassen sich diese Anforderungen mit nachverstärkten Distributed-Feedback-Lasern (Master-Oscillator-Power-Amplifier, MOPA) oder externen Resonatorsystemen (External Cavity System, ECL) realisieren (Abb. 1).

Herzstück beider Konzepte ist ein Trapezverstärker (Abb. 2). Ein solches Halbleiterbauteil besteht aus

zwei Sektionen, einer Ridgesektion (ridge, engl. für Rippenwellenleiter) und einer Trapezsektion, die monolithisch auf einem GaAs-Substrat vereinigt sind. Beide Sektionen werden durch Ätzen von Halbleiterschichten einer AlGaAs/InGaAs/GaAs-Diodenlaserstruktur erzeugt. Die Ridgesektion funktioniert wie ein einmodiger Diodenlaser und dient einerseits als Eingang des Verstärkers für den zu verstärkenden Seedlaser bzw. als Lichtquelle für den externen Resonatoraufbau. Bei der anschließenden Trapezsektion verbreitert sich der Rippenwellenleiter von üblicherweise 3 bis 5 µm auf eine Austrittsfacettenbreite von

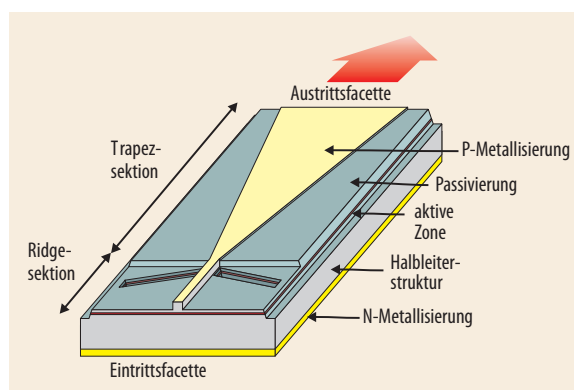


Abb. 2 Prinzipbild eines Trapezverstärkers (vgl. Text)

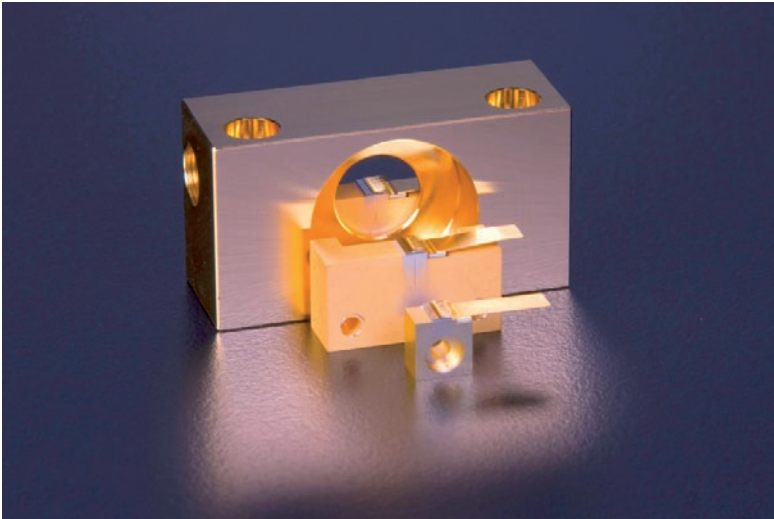


Abb. 3 Trapezverstärker, montiert auf verschiedene Wärmesenkentypen. Die Verlustleistung in Form von Wärme lässt

sich bei Trapezverstärkern durch Montierung auf verschiedene Typen von Wärmesenken deutlich verringern.

mehreren 100 μm , abhängig von der gewählten Sektionslänge und dem Trapezwinkel. Üblich sind Trapezwinkel zwischen 4° und 6° und Sektionslängen zwischen 2 mm und 4 mm. Durch Verlängerung der Trapezsektion lässt sich die Austrittsfläche verbreitern und damit die optische Ausgangsleistung erhöhen. Die minimale Strahlbreite, bestimmend für die Fokussierbarkeit, ist durch die Rippenwellenleiterbreite bestimmt und bleibt erhalten.

Trapezverstärker hoher Brillanzen

Die Performance der Trapezverstärker war lange Zeit wesentlich durch eine limitierte Wärmeabfuhr

bestimmt. Da sowohl Eintritts- wie auch Austrittsfläche für Optiken zugänglich sein müssen, kann die Wärmeabfuhr für diese Bauteile nur über die Grundfläche des Trapezverstärkers erfolgen. Bei bisher typischen Gesamteffizienzen (optische Leistung zu elektrischer Leistung) der Bauteile von 25 bis 30 % mussten beispielsweise bei 1 W optischer Leistung bis zu 3 W Verlustleistung in Form von Wärme abgeführt werden.

Eine Lösung dieser Probleme bieten Trapezverstärker mit deutlich längeren Resonatoren. Zusätzlich lässt sich über eine angepasste optimierte Montage die Wärmeabfuhr nochmals deutlich verbessern.

Lange Resonatoren bieten bei der Trapezverstärkertechnologie mehrere Vorteile. Bei geeigneter Wahl der Halbleiterschichtsysteme, welche die Verlust- und Gewinnmechanismen der Trapezverstärker bestimmen, sind Resonatorlängen zwischen 4 und 5 mm kommerziell herstellbar und heutzutage erhältlich. Diese Resonatoren bieten Gesamteffizienzen von bis zu 50 % und damit eine entsprechend geringere Verlustleistung. Gleichzeitig ist die Fläche, über die die Wärme abgeführt werden kann, über den Trapezwinkel überproportional vergrößert.

Standardmäßig sind bei Trapezverstärkern C-Mounts als Wärmesenke für Einzelemitter im Einsatz (Abb. 3, im Vordergrund). Dies sind vergoldete Kupferwärmesenken, die mit einem Schraubenloch, das sich unter dem Trapezverstärker befindet, an einem gekühlten Adapter aus vergoldetem Kupfer fixiert werden können und damit allerdings in ihrem thermischen Widerstand limitiert sind. Die gesteigerte Gesamteffizienz von 50 % erlaubt es nunmehr auch, diese Wärmesenken bei hohen optischen Ausgangsleistungen zu verwenden. Bei optimierten Wärmesenkendesigns lässt sich über eine vergrößerte Menge an angebotenen Kupfer der thermische Widerstand verbessern und damit die Performance der Trapezverstärker nochmals steigern. Eine solche Wärmesenke ist beispielsweise der DHP-Mount (Abb. 3).

Auf Basis dieser Eigenschaften werden inzwischen Trapezverstärker für MOPA- oder ECL-Systeme bis zu 2 W kommerziell angeboten. Bei entsprechenden Aufbauten sind auch Systeme bis zu 4 W demnächst kommerziell möglich. In Laborversuchen zeigten Systeme bereits optische Leistungen von bis zu 10 W (Abb. 4). Dank solcher Systeme sind heutzutage bereits frequenzverdoppelte Diodenlasersysteme mit mehreren 100 mW im unteren sichtbaren Bereich im Einsatz.

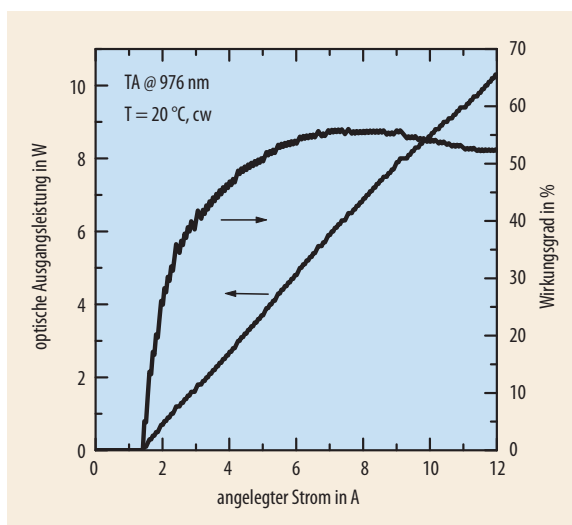


Abb. 4 Optische Ausgangsleistung eines externen Resonatorsystems mit einem Trapezverstärker bei 976 nm in Abhängigkeit vom angelegten Strom.