

Kollimatoren für Nano-Stack-Diodenlaser

Eckhard Langenbach

<mailto:eckhard.langenbach@sunrise.ch>

Bei Nano-Stack-Diodenlasern wird durch das Stapeln mehrerer Emissionszonen die Ausgangsleistung wesentlich erhöht. Die vertikale Ausdehnung der Lichtquelle wächst dabei erheblich an, und damit wird die Strahlqualität deutlich schlechter. Es werden Kollimationsoptiken vorgestellt, deren Ausgangsstrahl eine wesentlich verbesserte Strahlqualität aufweist.

1 Einleitung

Bei Nano-Stack-Diodenlasern werden in einem Chip mehrere Emissionszonen übereinander gestapelt, um die Ausgangsleistung des Lasers zu erhöhen. Multi-Chip-Nano-Stack-Diodenlaser steigern die Laserleistung weiter, indem mehrere Chips aufeinander montiert werden. Abbildung 1 zeigt schematisch den Aufbau eines Diodenlasers mit einer Emissionszone im Vergleich zu Nano-Stack-Diodenlasern aus einem oder drei Halbleiterchips. Die vertikale Ausdehnung der Lichtquelle wächst dabei von etwa $1\ \mu\text{m}$ einer einzelnen Emissionszone auf etliche $100\ \mu\text{m}$ an. Die Strahldivergenz bleibt unverändert, und das Strahlparameterprodukt steigt proportional zur Höhe der Emissionsfläche an. Die hier vorgestellten Konzepte für die Fast-Axis-Kollimation können diesen Verlust an Strahlqualität teilweise kompensieren.

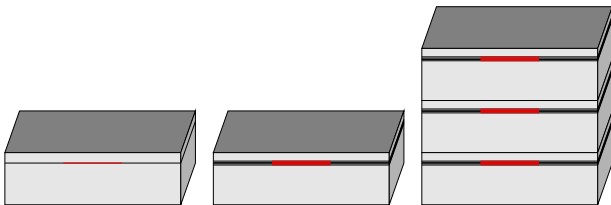


Abbildung 1 Aufbau verschiedener Diodenlaser

2 Fast-Axis-Kollimatoren

2.1 Kollimation einer einzelnen Emissionszone

Für die folgenden Überlegungen wird vereinfacht angenommen, dass die Laser über die Emissionshöhe (ca. $1\ \mu\text{m}$) und über einen größeren Abstrahlwinkbereich gleichmäßig verteilt Strahlen emittieren. Im y - φ -Phasenraumdiagramm, in dem die Strahlhöhe y und die Strahlrichtung φ aufgetragen werden, sind diese Strahlen dann gleichmäßig in einem Rechteck verteilt. Die Emitterfläche befindet sich im objektseitigen Brennpunkt der Kollimationslinse. Während der Propagation des Strahlbündels bleiben die Strahlrichtungen φ erhalten, und die Strahlhöhen

y steigen proportional zu φ an. Dadurch wird die Strahlenverteilung im Phasenraum in y -Richtung geschert und nimmt eine Parallelogrammform an. In der Linse bleiben die Strahlhöhen y unverändert, und nur die Strahlrichtungen φ ändern sich proportional zu y . Damit wird die Strahlenverteilung in φ -Richtung geschert. Nach einer weiteren Propagation zum bildseitigen Brennpunkt und der damit verbundenen Scherung nimmt die Strahlenverteilung wieder eine Rechteckverteilung an. Durch die Wahl der Linsenbrennweite kann man die Winkelverteilung der Strahlen erheblich reduzieren und an die jeweilige Anwendung anpassen. Die Strahlbündelverteilung ist während der Kollimation nur durch Scherungen verändert worden. Der dem Strahlparameterprodukt entsprechende Flächeninhalt der Strahlenverteilung im Phasenraum ist unverändert geblieben, und der verkleinerte Divergenzwinkel ist mit einer größeren vertikalen Ausdehnung der Strahlenverteilung erkauft worden.

Die Abbildung 2 zeigt in vier Phasen, wie sich die Strahlenverteilung während der Kollimation verändert. In der ersten Grafik wird die Strahlenverteilung am Laserausgang dargestellt. Dann folgen die Verteilungen unmittelbar vor und hinter der Kollimationslinse. Schließlich ist die Verteilung im bildseitigen Brennpunkt der Kollimationslinse zu sehen.

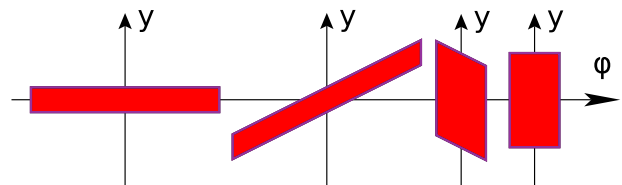


Abbildung 2 Strahlenverteilungen bei der Kollimation einer einzelnen Zone mit einer Linse

2.2 Kollimation eines einzelnen Nano-Stack-Diodenlasers

Bei einem Nano-Stack-Diodenlaser befinden sich in einem Halbleiterchip zwei bis vier Emissionszonen mit typischerweise knapp $5\ \mu\text{m}$ Abstand übereinander. Die von den Strahlen im y - φ -Phasenraum ein-

genommene Fläche wächst dadurch erheblich an, und das damit verbundene große Strahlparameterprodukt bzw. die schlechte Strahlqualität bleibt bei der Kollimation mit einer einzelnen Linse erhalten.

In der Abbildung 3 wird die Umformung der Strahlenverteilung mit einer Kollimationslinse gezeigt. Ursprünglich besteht die Verteilung aus drei kleinen, in y-Richtung gestapelten Emissionszonen mit einer gleichmäßigen Winkelverteilung. Nach der Kollimation sind die Strahlen räumlich in y-Richtung gleichmäßig verteilt, verlaufen aber in drei schmalen Lichtkegeln mit großem Winkelabstand zueinander.

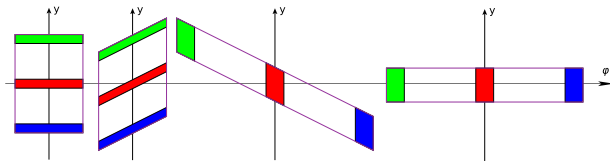


Abbildung 3 Strahlenverteilungen bei der Kollimation eines Nano-Stacks mit einer gemeinsamen Linse

Die Strahlenverteilung im Phasenraum hat ursprünglich große Lücken in der y-Richtung und nach der Kollimation in der φ -Richtung. Diese Lücken sind hauptverantwortlich für die große Gesamtfläche im Phasenraum und damit für die schlechte Strahlqualität. Die Lücken lassen sich weitgehend schließen, indem man für die Kollimation ein Linsenraster verwendet und jede Emissionszone mit einer eigenen Linse kollimiert (Abb. 4).

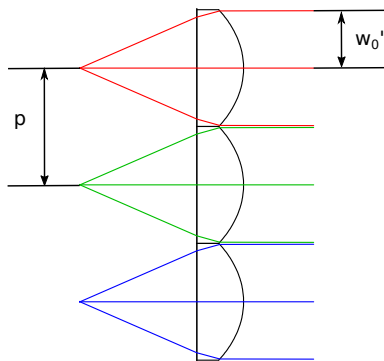


Abbildung 4 Nano-Stack-Kollimation mit einem Linsenraster

Die Abbildung 5 zeigt, wie sich die Strahlenverteilung während der Kollimation verändert. Die Abstrahlungen der einzelnen Emissionszonen erfolgen schließlich parallel zueinander, und die zugehörigen Strahlbündel sind jetzt in y-Richtung übereinander gestapelt. Die relativen Abstände zwischen den Strahlbündeln sind erheblich geschrumpft. Die von allen Strahlbündeln eingenommene Gesamtfläche im Phasenraum ist deutlich kleiner geworden, und die Strahlqualität hat entsprechend zugenommen.

Die Kollimation der Strahlen muss erfolgen, bevor

sich benachbarte Strahlbündel überlappen. Die Größe der Einzellinsen im Linsenraster ist durch das Rastermaß p der Emissionszonen vorgegeben. Der Tailenradius der Ausgangsstrahlen wird dadurch auf $w_0' \approx p/2$ begrenzt, und deshalb ergeben sich eher große Divergenzwinkel $\varphi' = \frac{\lambda}{\pi \cdot w_0'}$.

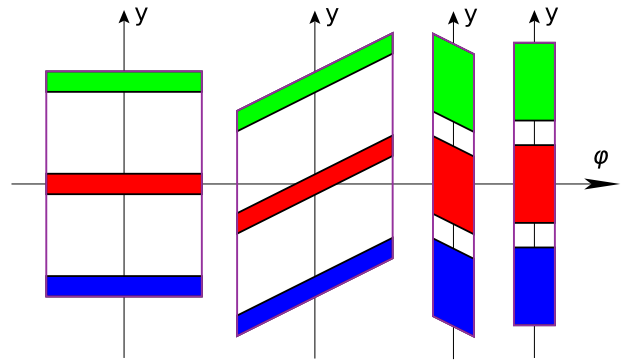


Abbildung 5 Strahlenverteilungen bei der Kollimation eines Nano-Stacks mit einem Linsenraster

Typischerweise ist $p \approx 5 \mu\text{m}$, und Linsenraster so kleiner Linsen sind kaum herstellbar. Wenn man aber den Nano-Stack mit einer beidseitig telezentrischen Abbildungsoptik (= „Strahlauflößer“) vergrößert, dann wächst dadurch das Rastermaß der Kollimationslinsen entsprechend an. Damit kann man einerseits den Divergenzwinkel der Ausgangsstrahlen reduzieren, und andererseits wird das größere Linsenraster produzierbar.

2.3 Kollimation eines Multi-Chip-Nano-Stack-Diodenlasers

Wenn man bei Multi-Chip-Nano-Stacks jeden Chip mit einen Strahlauflößer so vergrößert, dass die Bilder der Emissionszonen aller Chips auf einem gemeinsamen Raster angeordnet sind, dann kann man deren Abstrahlung mit einem Linsenraster kollimieren und dabei eine erhebliche Verbesserung der Strahlqualität erreichen (Abb. 6).

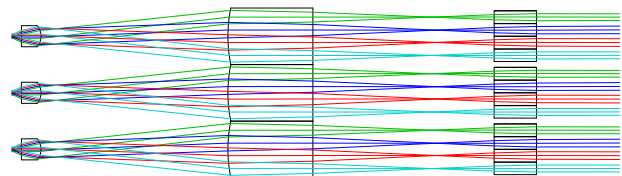


Abbildung 6 Kollimator für einen Multi-Chip-Nano-Stack-Diodenlaser

Pro Chip sind die Optiken nur etwa $200 \mu\text{m}$ hoch, und solch kleine Systeme können nicht mit konventionellen optischen Komponenten hergestellt werden. Aber mit neuen 3D-Mikrofabrikationsverfahren wie z. B. der Zwei-Photonen-Polymerisation lassen sich die optischen Elemente zusammen mit den zugehörigen Fassungen wohl realisieren.