

Technologie:

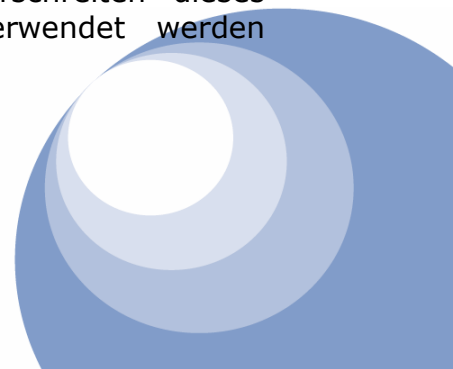
Alpes Laser stellt Laser her, die im mittleren und fernen Infrarotbereich (MID-IR, Far-IR) emittieren und ganz neu THz-Laser für Anwendungen in der Sicherheitstechnik. Es handelt sich um unipolare Halbleiterlaser, die häufig Quantenkaskadenlaser genannt werden. In der Literatur ist auch die Abkürzung QCL für „Quantum Cascade Laser“ geläufig.

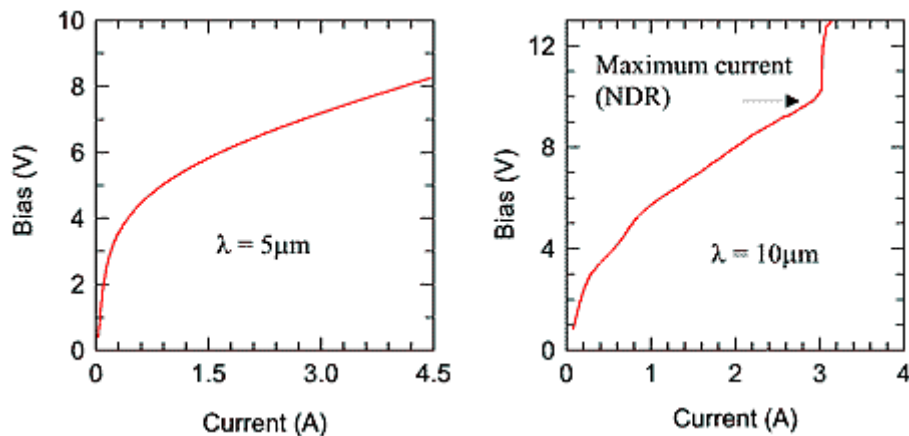
Wie bei jedem Halbleiter beeinflusst die Temperatur auch das Verhalten von Quantenkaskadenlasern. Im Allgemeinen werden die Laser mit einer negativen Spannung von 10V und je nach Laser und Temperatur bei Strompulsen von 1 bis 5 A betrieben. Die Pulslängen liegen typischerweise bei 100ns bei Fabry-Perot-Lasern.

In den Spezifikationen taucht häufig der Begriff „Raumtemperatur“ auf, der sich für Komponenten eingebürgert hat, die nicht mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden müssen. Raumtemperatur-Laser sind hier unipolare Bauelemente, die mit einem Peltier-Kühler auf Betriebstemperatur zwischen -30° und $+70^{\circ}$ C gehalten und betrieben werden können. Der thermo-elektrische Kühler wird durch eine Treiberelektronik gesteuert. Die Abwärme wird über die Luft oder einen Kühlwasseranschluss an die Umgebung abgegeben. Alpes Lasers bietet Lasertreiber an, die speziell auf die Besonderheiten der Quantenkaskadenlaser abgestimmt sind. Ein Gehäuse zum Schutz der Kristalle vor Umweltweinflüssen ist ebenfalls verfügbar.

Elektrisches Verhalten, I-V-Kennlinie

Das elektrische Verhalten von Quantenkaskadenlasern hängt sehr stark von ihrer inneren Struktur ab, die auch die Emissionswellenlänge bestimmt. Prinzipiell zeigen QCLs kurzer Wellenlängen $\lambda < 5\mu\text{m}$ (Wellenzahlen $> 2000\text{ cm}^{-1}$) stark dioden-ähnliches Verhalten, während bei längeren Wellenlängen $\lambda > 11\mu\text{m}$ ohmsches Verhalten dominiert. In beiden Fällen ist der differentielle Widerstand in der Nähe des Schwellenstromes i_{th} einige Ohm. Außerdem steigt bei QCLs mit langen Wellenlängen, die über deren maximalen Strom betrieben werden, die Spannung schlagartig an während die optische Leistung einbricht. Dieser Effekt tritt nur bei unipolaren Lasern auf und ist nicht mit dem optischen Durchbruch „optical damage“ an der Grenzfläche herkömmlicher Laserdioden zu verwechseln. Laserdioden sind nach einem optischen Durchbruch zerstört, während Quantenkaskadenlaser in der Regel auch nach dem Überschreiten dieses Umkehrpunktes des differentiellen Widerstands weiter verwendet werden können.



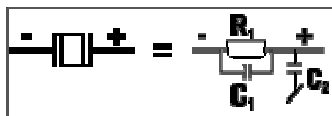


I-V-Kurven von gepulsten Quantenkaskadenlasern.

Die linke Kurve zeigt das dioden-ähnliche Verhalten eines Laser mit kurzer Wellenlänge (hier: $\lambda=5\mu\text{m}$). Die rechte Kurve zeigt ein wesentlich lineareres (=ohmsches) Verhalten bis zum maximalen Strom (hier 3,2A), an dem der differentielle Widerstand negativ wird und die optische Leistung einbricht.

Elektrisches Ersatzschaltbild:

Das elektronische Verhalten eines Quantenkaskadenlasers im Arbeitspunkt kann durch Parallelschaltung eines ohmschen Widerstands R_1 mit einem Kondensator C_1 und einem Kondensator gegen Masse modelliert werden. Wie aus den Kurven ersichtlich, sinkt der Widerstand von 10 bis 20 Ohm bei kleinen Vorspannungen bis auf 1-3 Ohm am Arbeitspunkt. C_1 ist vorspannungsunabhängig und resultiert aus der Kapazität der Bonddrähte zwischen Bond-Pad auf dem Halbleiter und dem Mount. Typischerweise beträgt die Kapazität von C_1 100pF. Die Kapazität von C_2 modelliert die Kapazitäten außerhalb des Lasers. Im Laborgehäuse von Alpes Lasers liegt sein Wert typischerweise unter 100pF.



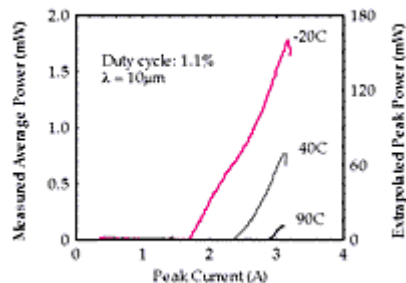
Ersatzschaltbild des Unipolar-Lasers

Temperaturabhängigkeit der Laserdaten:

Der Quantenkaskadenlaser ist deutlich weniger temperaturabhängig als beispielsweise ein Bleisalzlaser. Dennoch sollte der Einfluss der Temperatur auf den Schwellenstrom, an dem der Lasereffekt einsetzt, und die Kennliniensteilheit ("Slope Efficiency") nicht vernachlässigt werden. Deshalb werden Wellenlängen und Leistung in den Datenblättern für verschiedene Spannungen, Ströme und auch Temperaturen angegeben. Die folgende Kennlinie zeigt die optische Ausgangsleistung eines gepulsten QCL als Funktion des Spitzenstroms bei konstanten Pulslängen. Die Kennlinien wurden bei verschiedenen Temperaturen

des Lasers aufgenommen. Die Emissionswellenlänge betrug $10\mu\text{m}$ (1000cm^{-1}). Gemessen wurde die Durchschnittsleistung, aus der die Spitzenleistung eines Laserblitzes berechnet wurde.

High temperature pulsed operation

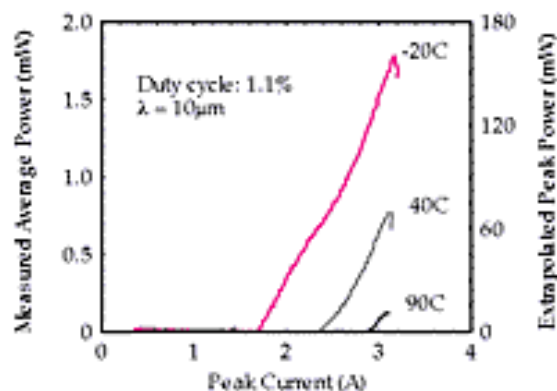


Extrapolated maximum operation temperature 105C

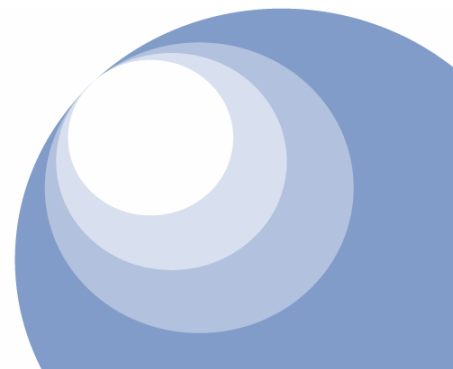
Optische Leistungsspitze und Durchschnittsleistung eines Quantenkaskadenlasers bei einem Tastverhältnis von 1.5% als Funktion der Temperatur.

Generell kann der Laser je nach Design und Emissionswellenlänge bei verschiedenen Temperaturen zwischen 300K und 400K betrieben werden. Da die maximale optische Leistung – und manchmal auch die Kennliniensteilheit – mit sinkenden Temperaturen steigen, empfiehlt sich der Einbau eines Peltier-Elements zur Kühlung des Lasers. Alpes Lasers bietet ein speziell auf die Belange von Quantenkaskadenlasern abgestimmtes Gehäuse mit einem Peltier-Kühler und entsprechenden Treiberelektroniken an, das auch eine optimale hochfrequenztechnische Ankopplung sicherstellt und den Laserkristall schützt. Optische Leistungsspitzen (Peak-Power) von 20 bis 100mW, die Durchschnittsleistungen von 2mW bis 10mW entsprechen, können ohne Probleme erreicht werden. Speziell auf hohe Leistungen abgestimmte Laser „Fingerburner“ erreichen optische Leistungsspitzen bis zu 1000 mW.

High temperature pulsed operation



Extrapolated maximum operation temperature 105C



Leistungsspitze und Durchschnittsleistung eines Unipolarlasers (bei einem Tastverhältnis von 1.5%) als Funktion der Temperatur.

Bei höheren Tastverhältnissen bis hin zum kontinuierlichen Betrieb („continuous wave“ oder kurz cw-Betrieb) nimmt die Erwärmung des Halbleiterkristalls zu und erfordert eine entsprechende Wärmesenke. Üblicherweise werden gepulste Laser mit Strömen von 100ns Dauer bei einer Anstiegszeit (rise time) von 10ns betrieben.

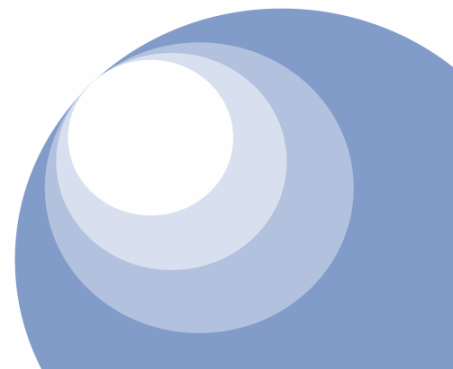
Spektrale Eigenschaften

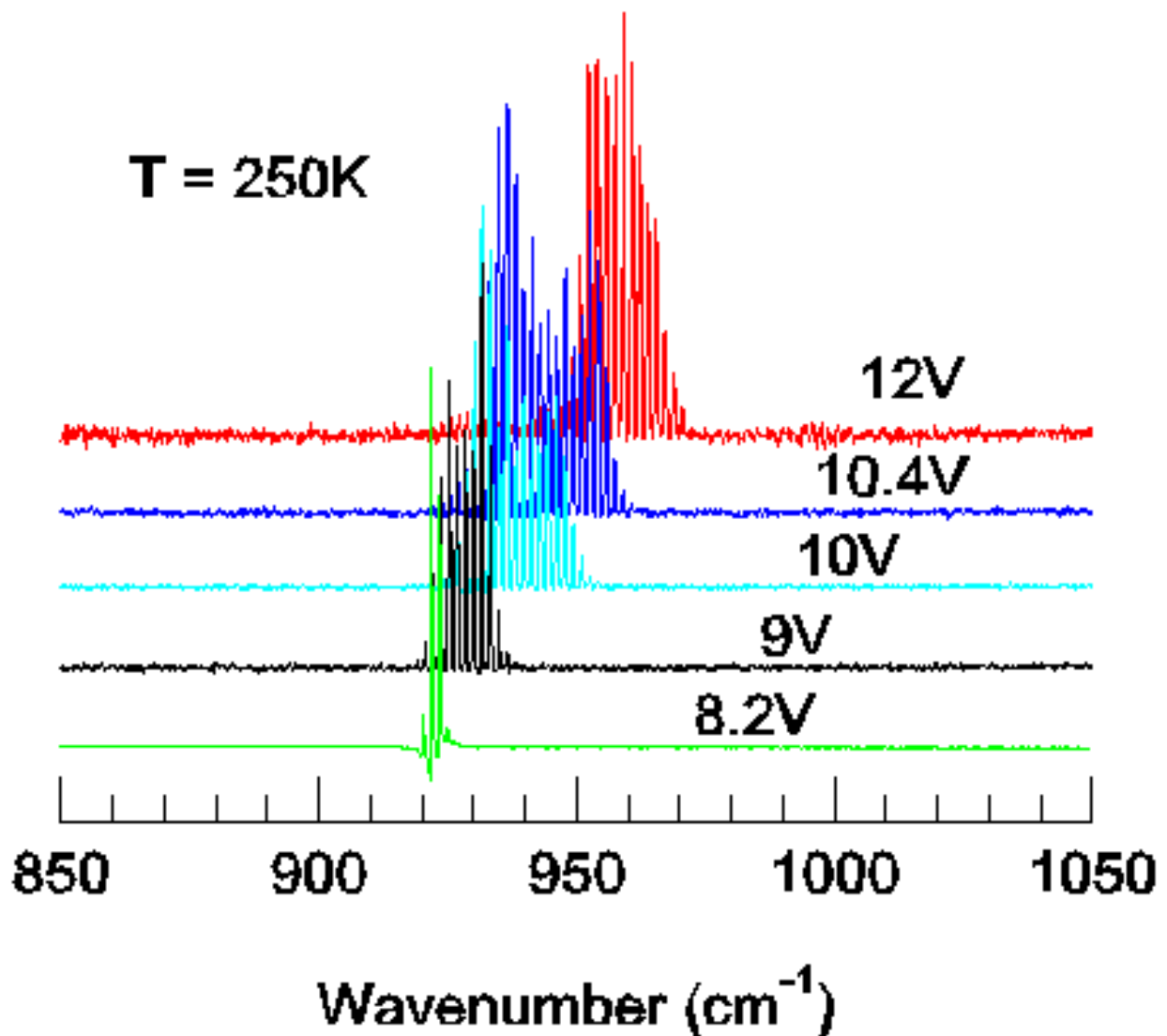
Die spektralen Eigenschaften werden von der Bauform ganz entscheidend beeinflusst. Es gibt gepulste und cw-Laser für Raumtemperatur und mit Stickstoffkühlung, als Fabry-Perot-Resonator ausgebildet oder als DFB-Laser. DFB steht für **D**istributed-**F**eedback und bezeichnet Laser, in deren Resonatorzone eine regelmäßige Struktur eingebracht wurde, die als sogenanntes Bragg-Gitter wirkt. Dadurch wird die Finesse des Resonators höher und die spektrale Linienbreite des Lasers schmaler. Eine Übersichtstabelle der verschiedenen Laser finden Sie auf unserer Website. Typischerweise haben cw-Laser geringere Leistungen als die gepulsten Versionen. Dafür können mit ihrer Linienbreite von circa 3MHz ($=0,0001\text{cm}^{-1}$) in der Spektroskopie circa 100-mal schmalere Linien aufgelöst werden. Für den Fall, dass höhere Leistungen benötigt werden und die Linienbreite unkritisch ist, bietet sich der Einsatz von Fabry-Perot-Lasern (kurz FP-Laser) an.

Ganz neu verfügbar sind TeraHertz-Laser (THz-Laser), die besonders in der Sicherheitstechnik sehr erfolgreich sind.

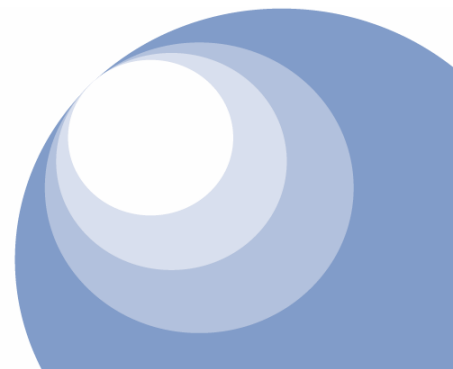
Einige gepulste Laser zeigen mit steigendem Injektionsstrom die Tendenz kürzere Wellenlängen zu emittieren. („Blue-Shift“). Das folgende Diagramm zeigt den Einfluss der Stromstärke auf das Spektrum.

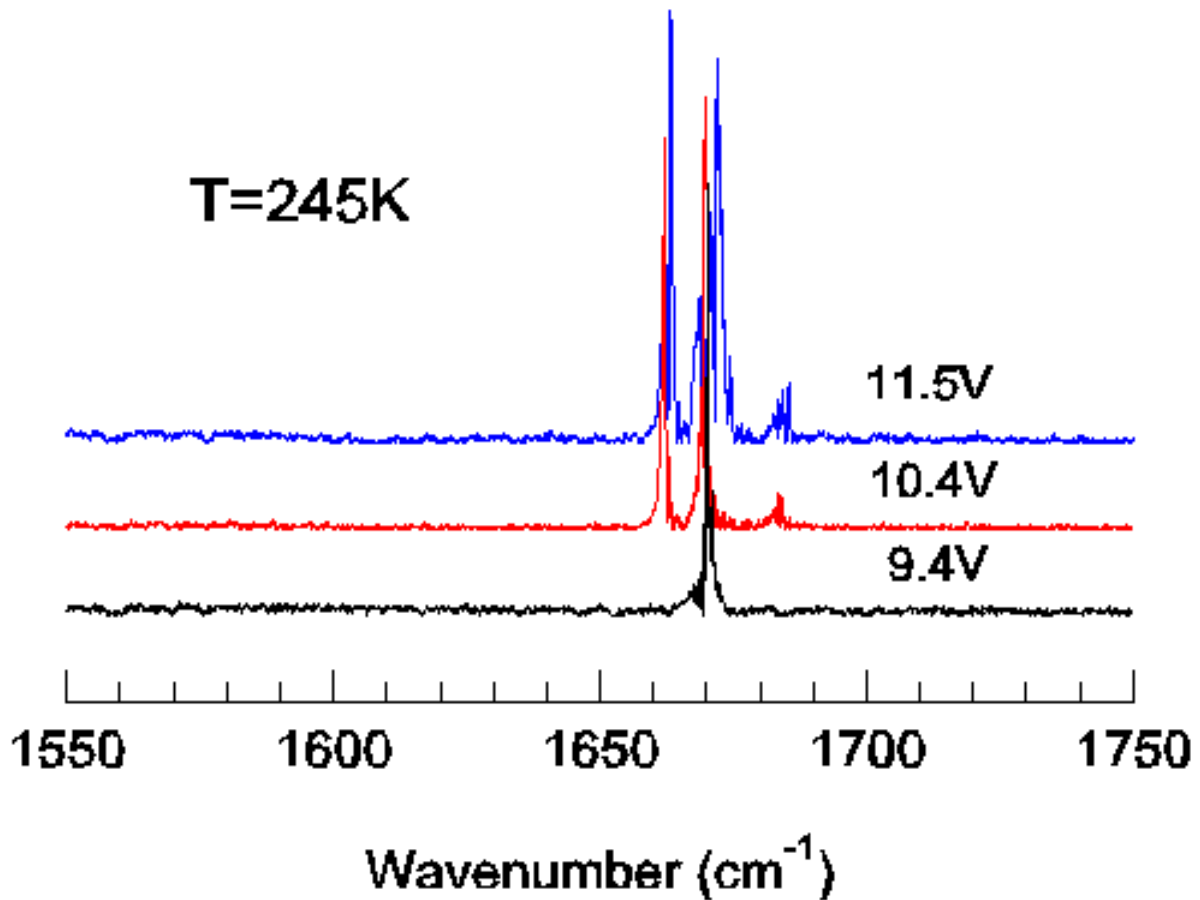
a) Spektren eines langwelligen QC-Laser (diagonal)





b) Spektrum eines kurzwelligen QC-Laser (vertikal)



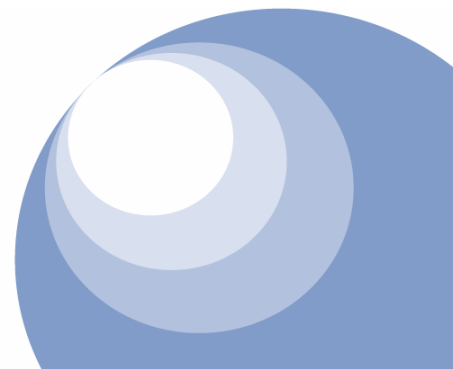


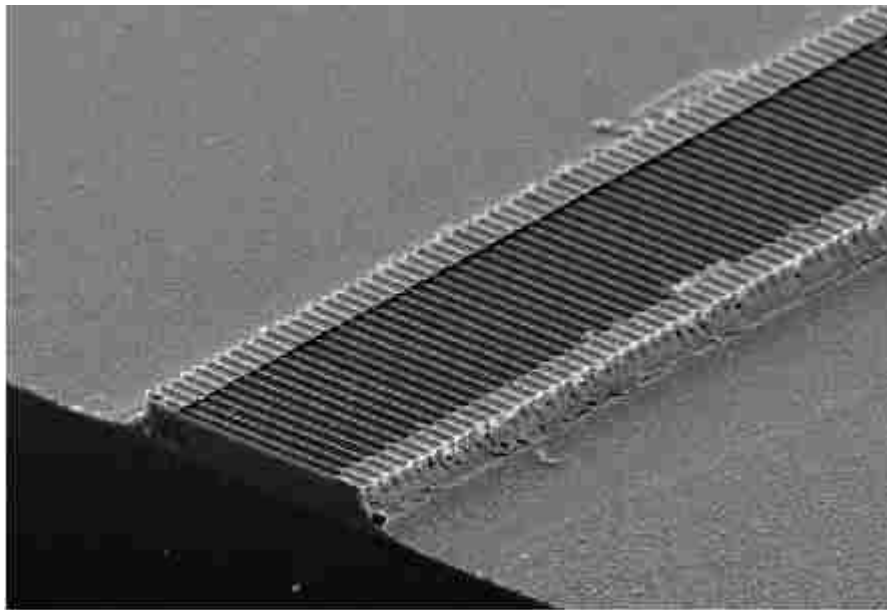
Elektronisches Tuning

Durch den Betrieb des Lasers mit zwei verschiedenen Elektroden ist es möglich, Wellenlänge und optische Ausgangsleistung unabhängig von einander zu steuern. Der Abstimmbereich kann bis zu 40 cm⁻¹ bei einer Spitzenleistung von 5mW gedehnt werden. Eine detaillierte Beschreibung des Aufbaus finden Sie in den Fachartikeln unter dem Link [literature](#).

Distributed-Feedback-Laser (DFB)

Ein Distributed-Feedback-Laser ist ein Laser, in dessen Wellenleiterstruktur ein Gitter geätzt wurde, das die Finesse des Resonators erhöht und so die Linienbreite des Lasers reduziert. Die emittierte Wellenlänge hängt damit zusätzlich von der Gitterkonstante des Bragg-Gitters ab. So kann im Laser nur ein longitudinaler Mode anschwingen, die Wellenlänge lässt sich nur in einem engen Bereich über die Temperatur einstellen. Die Abhängigkeit ist definiert durch $1/n \frac{dn}{dT} = 6 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$.

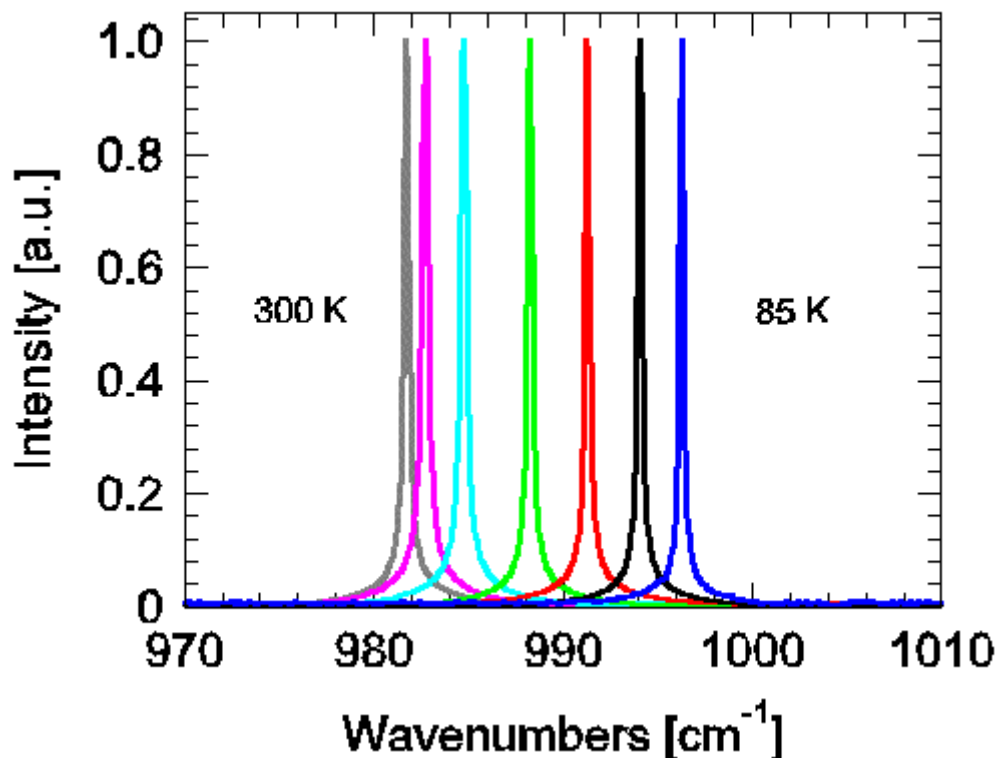




Mit einem Elektronenstrahl-Mikroskop aufgenommenes Bild eines Distributed-Feedback-Unipolar Lasers (DFB-UL).

Die breite Stufe bildet den Laserwellenleiter, aus dessen sichtbarer Facette der Laserstrahl austritt. Die Streifenstruktur auf dem Rücken des Laserwellenleiters liegt senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Lichts und wirkt als so genanntes Bragg-Gitter. Das Licht tritt also auf dem Bild links unten aus der „Stufe“ aus





Emissionsspektrum eines DFB-UL bei verschiedenen Temperaturen und konstantem Strom.

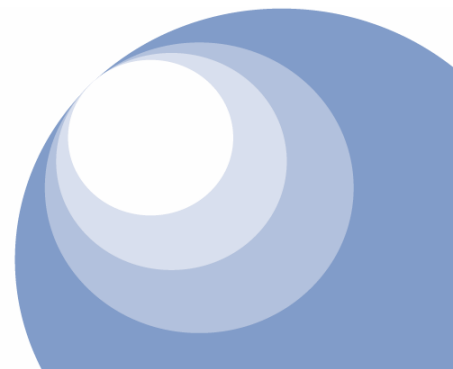
Das obige Diagramm zeigt den Einfluss der Temperatur auf die Wellenlänge eines DFB-Lasers. Bei steigenden Temperaturen dehnt sich der Resonator aus und die Resonanzwellenlänge wird länger. Damit wird die Wellenzahl für höhere Temperaturen kleiner.

Dieser Tuningeffekt bewirkt auch, dass sich selbst im Pulsbetrieb der Laser während des Strompulses leicht erwärmt und sich so die Wellenlänge ändert. Dieser Chirp ist als „Linienverbreiterung“ des Lasers messbar und stark von der Treiberelektronik abhängig. Alpes Lasers empfiehlt Pulse von 1ns bis maximal 10ns Dauer mit einer sehr genauen Amplitudenstabilität zu verwenden. Weitere Details dieses Effekts sind unter [literature](#) beschrieben.

Strahleigenschaften

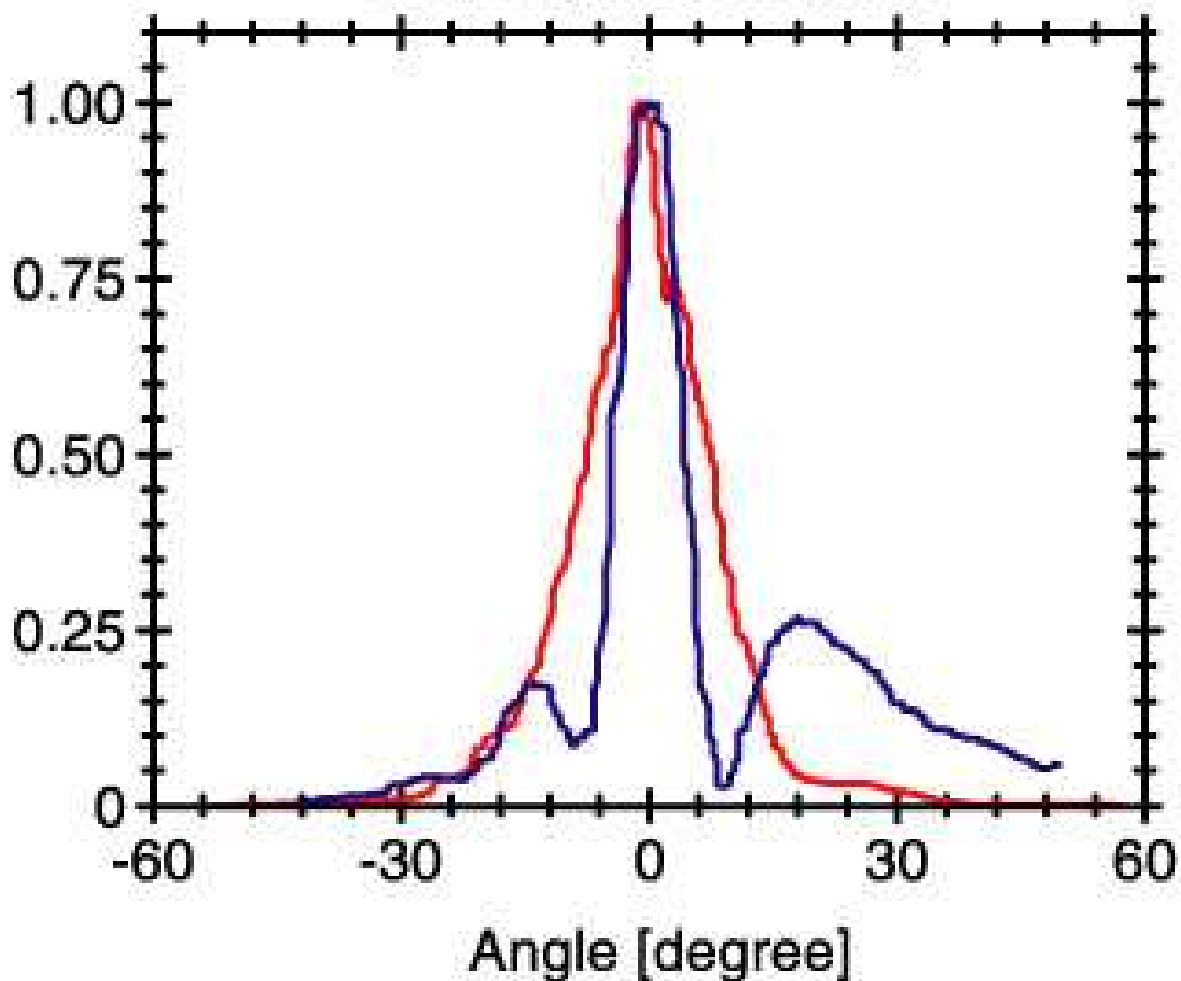
Polarisation

Auf Grund quantendynamischer Effekte ist der Strahl eines Quantenkaskadenlasers immer so linear polarisiert, dass der elektrische Feldvektor senkrecht zu den Halbleiterschichten (und zum Kupfer-Submount) steht.

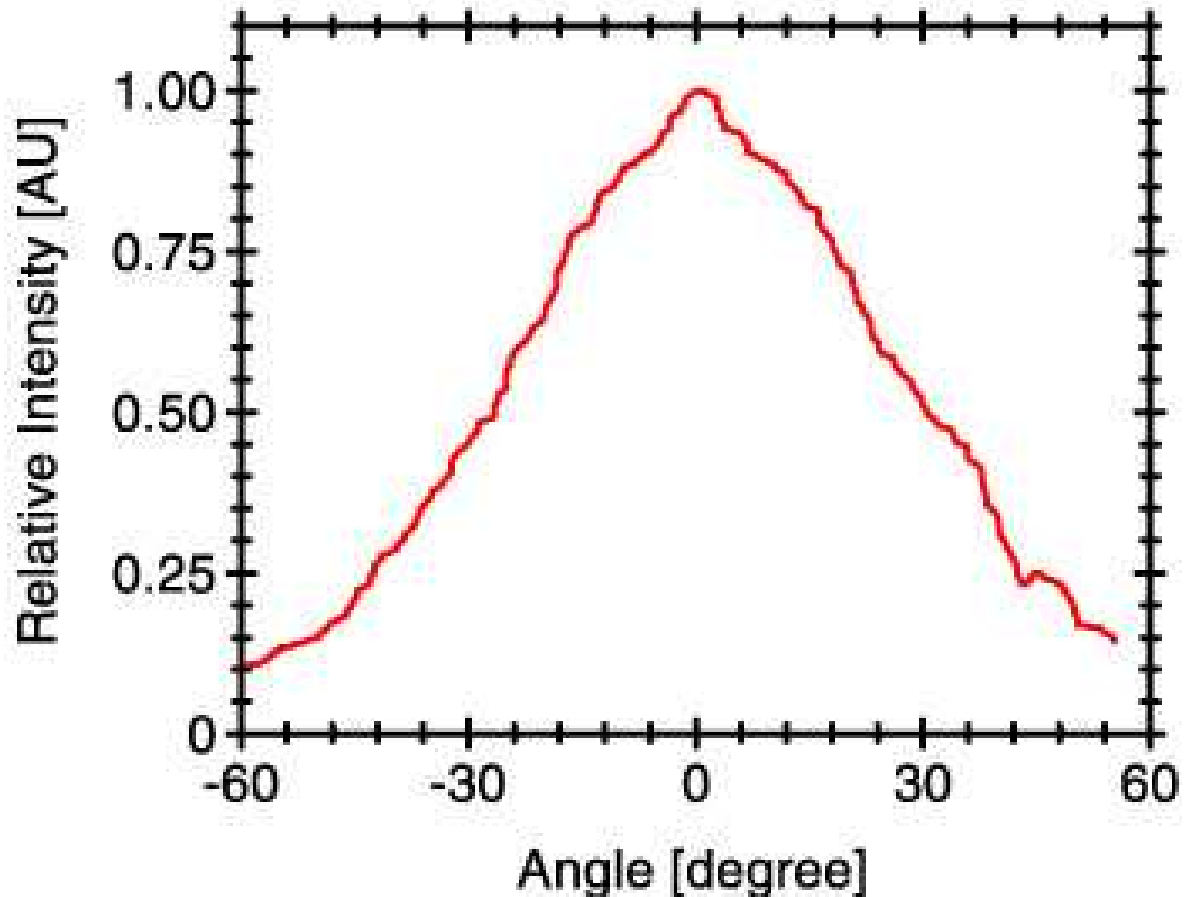


Die optisch aktive Zone des Unipolar-Lasers ist ein sehr schmaler Wellenleiter, der zu einer starken Divergenz an der Austrittsfacette führt. Senkrecht zur Schichtstruktur beträgt der volle Divergenzwinkel circa 60° und parallel zur Schichtstruktur circa 20° . Eine typische Fernfeldverteilung ist in den folgenden Diagrammen dargestellt:

Typical far field measurement
in the horizontal direction
i.e. in the plane of the mount



Typical far field measurement
in the vertical direction
i.e. orthogonal to the plane of the mount



Das bedeutet, dass Optiken mit $f\#1$ typischerweise 70% der emittierten Strahlung erfassen und nutzbar machen können. Es schwingt im Allgemeinen nur der TEM00-Mode an, so dass Gauß'sche Intensitätsverteilungen mit guter Näherung angenommen werden können.

