Anwenderbericht

Untersuchungen der raum-zeitlichen Kurzzeitdynamik von Breitstreifen-Halbleiterlasern

I.Fischer, M.O. Ziegler[+], W. Elsäßer

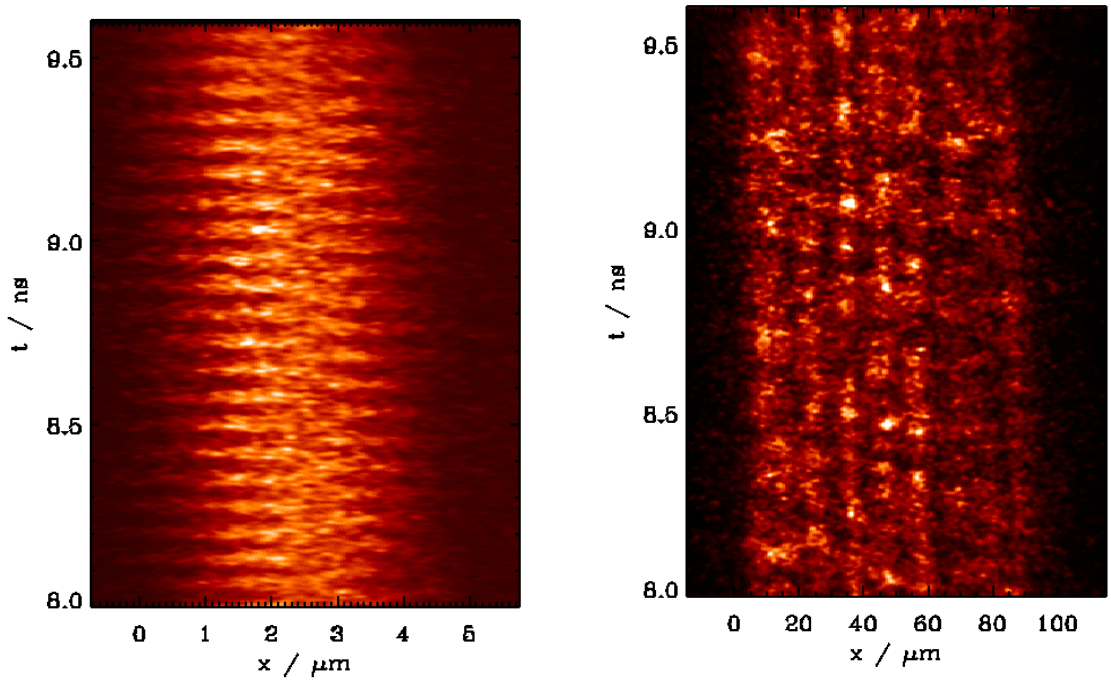
Institut für Angewandte Physik, Technische Hochschule Darmstadt
[+] auch: Fachbereich Physik, Philipps-Universtät Marburg

Breitstreifen-Halbleiterlaser können bei sehr geringem Volumen (aktive Zone typ.: 500µm · 100µm · 0.1µm) und sehr guten Konversionseffizienzen (typ.:≈30%) Lichtleistungen von bis zu einigen Watt emittieren. Sie finden Anwendung beim Pumpen von Festkörperlasersystemen und Faserverstärkern, in der Freistrahl-Nachrichtenübertragung oder auch in der Medizin. Von ihrem Aufbau her gleichen Breitstreifenlaser anderen bekannten kantenemittierenden Halbleiterlasern mit dem einzigen Unterschied, daß die Breite des aktiven Volumens von ca. 1µm auf 5µm...500µm vergrößert ist. Darunter leiden die Strahleigenschaften und die räumliche Kohärenz. In dieser (lateral genannten) Richtung ist dann nicht mehr nur die Grundmode-Emission möglich: das Lichtfeld kann Strukturierungen zeigen, die sich in Nah- und Fernfeld äußern. Für uns repräsentiert der Breitstreifenlaser ein „ambivalentes Wesen“, zum einen als Modellsystem für raum-zeitliches Chaos, zum anderen als Element der Photonik. Ziel unserer Arbeiten war deshalb sowohl die Untersuchung der Nichtlinearen Dynamik auf einer Pikosekundenzeitskala mit räumlicher Ortsauflösung von typisch µm und die Untersuchung von Ultrahochfrequenz-Phänomenen hinsichtlich photonischer Anwendungsaspekte. Ein Charakteristikum der Nichtlinearer Dynamik ist die sensitive Abhängigkeit des Verhaltens von den jeweiligen dynamischen Anfangsbedingungen, die dazu führt, daß man experimentell Einzelereignisse, d.h. ohne Mittelung bzw. Integration erfassen muß. Um diese Einzelschuß-Intensitätsdynamik mit Pikosekundenzeitauflösung bei gleichzeitiger Auflösung einer Raumdimension erfassen zu können, verwenden wir für die Detektion ein Hamamatsu Einzelschuß-Streakkamerasystem (Temporal Disperser C1587 mit Single Sweep Unit M1952). Die Auslesung erfolgt durch eine gekühlte CCD-Kamera (C-4880), was hohe Empfindlichkeit, Dynamik und ein gutes Signal/Rausch-Verhältnis gewährleistet.

Wir haben experimentell systematisch sowohl Laser mit typischen Breiten der aktiven Zone von 100µm untersucht, als auch Laser mit Breiten von 3µm...10µm, bei denen erste Strukturierungen des Nahfeldes auftreten können. In den Abbildungen sind Streakkameramessungen gezeigt, die die zeitliche Entwicklung des lateralen Emissionsprofiles darstellen, wobei Abszisse räumliche und Ordinate zeitliche Koordinate bedeuten. In Abbildung 1 ist die Dynamik eines 5µm breiten Lasers über ein Zeitfenster von 1.6ns dargestellt. Betreibt man diese Laser bei sehr hohen Pumpströmen (hier 9-facher Schwellstrom), so erkennt man eine Oszillation der Emission (reguläre raum-zeitliche Dynamik) zwischen rechter und linker Seite der aktiven Zone (s.Abb.1). Es handelt sich hierbei um eine Schwebung von der Grundmode mit der ersten transversalen Mode. Erhöht man den angelegten Strom weiter, so führt dies zu einer irregulären raum-zeitlichen Dynamik mit niedrigen und hohen räumlichen Schaltfrequenzen und zeitlichen Pulsationen. Die zeitlichen Pulsationen weisen Ähnlichkeiten mit selbst-pulsierenden CD- oder DFB-Lasern auf, die für Anwendungen in der Signalerzeugung oder -verarbeitung hochbitratiger photonische Signale eine große Bedeutung besitzen. Für größere Breiten der Laser wird die irreguläre raum-zeitliche Dynamik zunehmend komplexer. Abbildung 2 zeigt eine Streakkamera-Messung eines 100µm breiten Lasers. Der Laser wurde zum Zeitpunkt t=0ns

auf ungefähr den doppelten Schwellstrom eingeschaltet. Der Ausschnitt zeigt den Zeitbereich von t=8.0ns bis t=9.6ns. Man erkennt keineswegs eine stabile Emission, sondern vielmehr eine Überlagerung aus einer statischen räumlichen Nahfeldmodulation mit sieben Filamenten und zudem räumlich und zeitlich irregulären Intensitätspulsationen mit Breiten von ≈ 5 µm und zeitlicher Dauer von ≈ 50..100 ps, die deswegen auch nur im Einzelschuß zu erfassen sind.

Somit kann die Bedeutung der nichtlinearen Wechselwirkung von Licht und Halbleitermaterial für Halbleiterlaser demonstriert und systematisch untersucht werden. Ein detailliertes Verständnis dieser Pikosekunden-Dynamik an Breitstreifenlasern entwickeln wir gerade in Zusammenarbeit mit Kollegen der Arbeitsgruppen von Prof. F. Kaiser / TH Darmstadt und Dr. O. Hess / DLR Stuttgart. Dadurch können sowohl grundlegende Erkenntnisse für die Nichtlineare Dynamik, als auch für die Entwicklung moderner Laserstrukturen gewonnen werden.



Literatur:

1. I. Fischer, O. Hess, W. Elsäßer, and E. Göbel,
   Complex Spatio-Temporal Dynamik in the Nearfield of a Broad-Area Semiconductor Laser
   Europhys. Lett. **35**, 579 (1996).
2. I. Fischer,
   Nichtlineare Dynamik und komplexes raum-zeitliches Verhalten von Halbleiterlasern
   Dissertation, Verlag Görich & Weiershäuser (1996).
3. M.O. Ziegler, E. Miltényi, M. Münkel, J. Greif, G. Jennemann, I. Fischer, H. Asonen, and W. Elsäßer,
   Spatio-temporal dynamics in the near field of a ridge waveguide pump laser diode
   SPIE - Proceedings: Physics and Simulation of Optoelectronic Devices, **2994**, 572 (1997).