



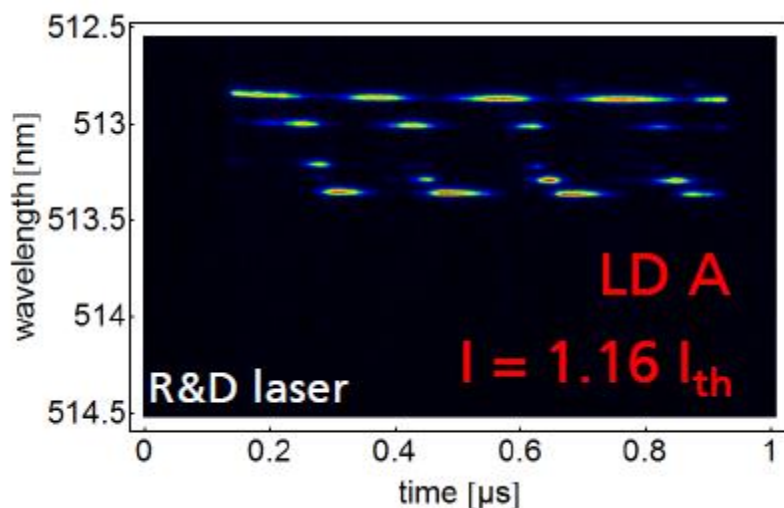
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ

Vorschlag für eine Masterarbeit in der Professur „Theoretische Physik – Simulation neuer Materialien“ für den Studiengang Physik oder Computational Science

## Spektrales Lochbrennen in GaN-Laserdioden

In einem LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) wird ein Lichtfeld durch stimulierte Emission verstärkt und dann ein kohärenter Lichtstrahl einer bestimmten Wellenlänge emittiert. Der Laser beinhaltet deshalb immer einen Resonator, d.h. einen Bereich, in dem Licht durch Spiegel „eingeschlossen“ wird, und ein aktives Medium, in dem stimulierte Emission erfolgt.

Wegen ihres günstigen Preises und der geringen Abmessungen werden heutzutage in vielen



Fällen Laserdioden eingesetzt. Im blauen und grünen Spektralbereich sind diese in der Regel nitridbasiert. Die Emission wird dann durch Übergang von Elektronen vom Leitungs- ins Valenzband erzeugt. Da diese Bänder eine gewisse energetische Ausdehnung haben, gibt es verschiedene Moden, d.h. Lichtenergien, bei denen der Laser arbeiten

kann. Wenn allerdings die Emission zu stark wird, können die Elektronenzustände bei einer bestimmten Energie durch stimulierte Emission geleert werden und diese Energie verschwindet aus dem Spektrum. Dieser Effekt wird spektrales Lochbrennen genannt und führt zu einer Verlagerung der Emission auf andere Moden. Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit soll nun das sogenannte Modenrollen modelliert werden. Experimentell beobachtet man, dass die im Laserspektrum enthaltenen Moden nacheinander an- und ausgehen, die Emission also quasi von niedrigen zu hohen Frequenzen „rollt“. Im roten und infraroten Spektralbereich ist dieses Phänomen wohlbekannt<sup>1</sup>. Im blauen Spektralbereich wurde es in auf (Al,In)GaN basierenden Laserdioden in Ref. (2) beschrieben. Im Rahmen der Arbeit soll das Modenrollen in grünen GaN-basierten Laserdioden modelliert werden.

<sup>1</sup> M. Ohtsu et al., *Precise measurement and computer-simulations of mode-hopping phenomena in semiconductor lasers*, Appl. Phys. Lett. **46**, 108 (1985); M. Ahmed, M. Yamada, *Influence of instantaneous mode competition on the dynamics of semiconductor lasers*, IEEE Journ. Quant. El. **38**, 682 (2002); F. Pedacci et al., *Experimental analysis of mode-hopping in bulk semiconductor lasers*, Appl. Phys. B **81**, 993 (2005).

<sup>2</sup> B. Schmidtke et al., *Time resolved measurement of longitudinal mode competition in 405nm (Al, In)GaN laser diodes*, Phys. Stat. Sol. C, 1-4 (2009).

Die Abbildung zeigt eine Messung aus der Gruppe von U. Schwarz vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik in Freiburg an einer grünen GaN-basierten Diode. Aufgetragen ist die Wellenlänge über der Zeit. Die leuchtenden Moden sind klar als helle Striche zu erkennen. Zur Erinnerung sei erwähnt, dass die Wellenlänge quasi die inverse Photonenenergie darstellt, dass also hohe Wellenlängen niedrigen Energien entsprechen. Es ist deutlich zu sehen, dass die Emission zwischen vier Moden wechselt, wobei die Energie jeweils von einer zur nächsten Mode zunimmt, bis sie nach der höchstenergetischen Mode wieder zur niedrigstenergetischen springt. Dieses Verhalten soll in der vorgeschlagenen Arbeit modelliert werden. Das anzuwendende Modell wird in Ref. (3) beschrieben. Es basiert auf den Halbleiter-Bloch-Gleichungen<sup>4</sup>. Streuung soll phänomenologisch über Streuzeiten dargestellt werden. Dadurch kann, wie in der zitierten Veröffentlichung gezeigt, spektrales und kinetisches Lochbrennen dargestellt werden und die Vorgänge in der Laserdiode werden exakter dargestellt als mit den bisher verwendeten Ratengleichungsmodellen<sup>2</sup>.

Weitere Informationen gerne bei:

Prof. Dr. Angela Thränhardt

Professorin für „Theoretische Physik – Simulation neuer Materialien“

Kontakt am besten über email: [angela.thraenhardt@physik.tu-chemnitz.de](mailto:angela.thraenhardt@physik.tu-chemnitz.de)

---

<sup>3</sup> A. Thränhardt et al., *Nonequilibrium gain in optically pumped GaInNAs laser structures*, Appl. Phys. Lett. **85**, 5526 (2004).

<sup>4</sup> Siehe H. Haug, S. W. Koch, *Quantum Theory of the Optical and Electronic Properties of Semiconductors*, 4. Auflage, World Scientific, Singapore 2004.