

Realisierung rauscharmer 441,6 nm He-Cd-Laser durch Modulation des Entladungsstromes

Tai-chiung Hsieh *, Wolfgang Knauer and Uwe Penning
Lehrstuhl für Technische Elektronik, Technische Universität München

Z. Naturforsch. **32a**, 1503–1505 (1978); eingegangen am 20. 10. 1977

Realization of low Noise 441,6 nm He-Cd-Lasers by Modulation of the Discharge Current

A simple method to stabilize the laser light of a 441,6 nm He-Cd-laser at maximum output power is presented. Experiments show that a strong reduction of the fluctuations in the laser output can be achieved by a modulation of the discharge current at specific frequencies in the 100 kHz-range. This also leads to an increase in output power by 10–25 per cent as compared to the unmodulated laser.

Kataphoretische He-Cd-Laser mit beheiztem Cd-Reservoir sind in der Regel durch Fluktuationen der Laserausgangsleistung mit Spitzenwerten bis zu 30% in einem Frequenzbereich von 1–300 kHz gekennzeichnet [1, 2]. Bei den zur Zeit erhältlichen rauscharmen He-Cd-Lasern wird eine Reduzierung dieser Fluktuationen entweder durch die Verwendung spezieller Röhrenkonstruktionen [3] oder infolge einer Kompensation mittels interner akustooptischer Modulatoren erreicht [4]. Die vorliegende Arbeit zeigt, daß sich rauscharme He-Cd-Laser auf einfache Weise durch eine Modulation des Entladungsstromes realisieren lassen.

Tabelle 1. Zusammenstellung der Kapillarabmessungen und Meßergebnisse der bei der Strommodulation verwendeten He-Cd-Laserröhren.

Röhre Nr.	1	2	3
aktive Länge der Kapillare (cm)	27	40	80
Innendurchmesser der Kapillare (mm)	1,7	1,7	2,2
relativer Schwankungspegel ohne Modulation (%)	10	4	6
relativer Schwankungspegel mit Modulation (%)	4	0,9	0,7
Modulationsfrequenz (kHz)	77	82	173
Zunahme der Laserleistung mit Modulation (%)	25	20	13

Die Experimente werden an Laserröhren mit unterschiedlichen Kapillarabmessungen (Tab. 1) durchgeführt. Der He- und der Cd-Partialdruck, sowie der Entladungsstrom der einzelnen Röhren entsprechen den für eine maximale Ausgangsleistung erforderlichen Werten. Sie wurden zu

* Stipendiat der Steyler Mission.

Sonderdruckanforderungen an Dipl.-Ing. U. Penning, Lehrstuhl für Technische Elektronik, Technische Universität München, Arcisstraße 21, D-8000 München 2.

Beginn der Untersuchungen experimentell ermittelt. In Abb. 1 ist der zur Analyse der Fluktuationen des Lasersignales verwendete Meßaufbau wiedergegeben. Als optische Empfänger dienen für end-on-Beobachtungen eine PIN-Photodiode (PD) und für side-on-Beobachtungen ein Photomultiplier (PM), jeweils in Verbindung mit einem Impedanzwandler (IW). Der Effektivwert der Fluktuationen wird mit einem Breitbandvoltmeter (BV) gemessen, dessen Frequenzbereich sich von 2 Hz bis 4 MHz erstreckt. Die Bestimmung der mittleren Ausgangsleistung erfolgt über ein Voltmeter (VM). Der Quotient dieser beiden Meßgrößen wird im folgenden als „relativer Schwankungspegel“ bezeichnet. Ein Frequenzanalysator (FA) mit einem Frequenzbereich von 0–620 kHz in Verbindung mit einem x-t-Schreiber (S) und ein Zweistrahloszillograph (ZO) ermöglichen die Untersuchung der Fluktuationen im Frequenz- und Zeitbereich. Abb. 3a zeigt das Oszillogramm des Ausgangssignals eines unmodulierten Lasers (Röhre 3, Tabelle 1). Der relative Schwankungspegel erreicht in

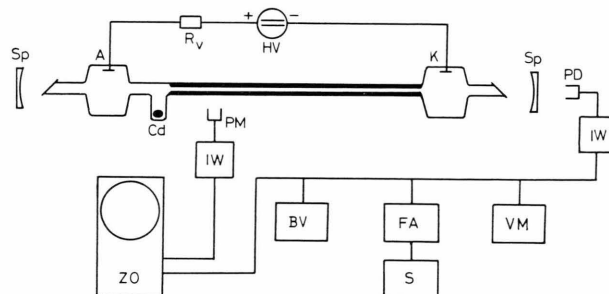


Abb. 1. Meßaufbau zur Analyse der Fluktuationen des Lasersignals. (Sp = Laserspiegel, A = Anode, K = Kathode, R_v = Vorwiderstand, HV = Hochspannungsversorgung, Cd = Cadmiumvorratsgefäß, PD = Photodiode, PM = Photomultiplier, IW = Impedanzwandler, ZO = Zweistrahloszillograph, BV = Breitbandvoltmeter, VM = Voltmeter, FA = Frequenzanalysator, S = Schreiber.)



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition “no derivative works”). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

diesem Fall einen Wert von 6%. Der Verlauf des zugehörigen Frequenzspektrums ist in Abb. 4a wiedergegeben. Als charakteristisches Merkmal für einen „verrauschten“ He-Cd-Laser sind das $1/f$ -artig fallende Kontinuum und diskrete Linien unterschiedlicher Breite zu erkennen. Vorangegangene Untersuchungen ergaben, daß letztere aufgrund selbsterregter laufender Schichten in der Kapillare der Laserröhre entstehen [5]. Dieses Ergebnis steht in Einklang mit den Arbeiten von Fromm [6] und Johnston [7].

Die von den Verfassern dieses Artikels vorgeschlagene Modulation des Entladungsstromes zur Reduzierung der Fluktuationen der Ausgangsleistung eines He-Cd-Lasers wird mit Hilfe der in Abb. 2 dargestellten Versuchsanordnung realisiert. Die in Serie mit der Laserröhre liegende Pentode wird von einem freilaufenden Sinusgenerator (SG) angesteuert, dessen Frequenz über einen Bereich von 1 Hz bis 1 MHz durchgestimmt werden kann. Bestimmte Modulationsfrequenzen, die ihrerseits durch die Schichtungsfrequenzen in der Kapillare der Laserröhre gegeben sind, führen allgemein zu folgenden Änderungen im Lasersignal:

- i) Der relative Schwankungspegel wird beträchtlich reduziert,
- ii) das Kontinuum im niederfrequenten Bereich des Frequenzspektrums wird merklich in seinem Verlauf verändert und abgesenkt,
- iii) gegenüber dem unmodulierten Fall ist ein Anstieg der Laserausgangsleistung zu beobachten.

Abbildung 3b zeigt das Oszillogramm der Ausgangsleistung eines infolge Strommodulation realisierten rauscharmen He-Cd-Lasers (Röhre 3, Tab. 1), Abb. 3c das Modulationssignal. Der relative Schwankungspegel des Lasersignals beträgt 0,7% gegenüber 6% im unmodulierten Fall, der Leistungsanstieg 13%. In Abb. 4b ist das zugehörige Frequenzspektrum wiedergegeben. Der Maßstab der relativen

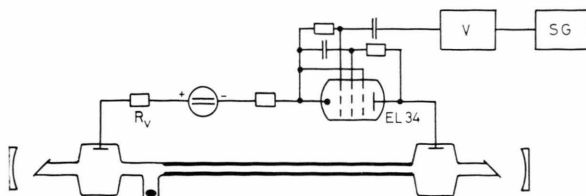


Abb. 2. Modulationsanordnung zur Stabilisierung der Fluktuationen des Lasersignals (V = Verstärker, SG = Sinusgenerator).

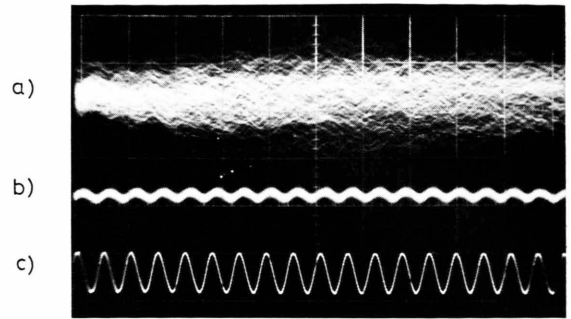


Abb. 3. Oszillogramme des Lasersignals von Röhre 3: a) ohne Modulation, b) mit Modulation, c) Modulationssignal. Zeitmaßstab einheitlich $10 \mu\text{s}/\text{Einh.}$ y -Empfindlichkeit bei (a) und (b): $0,1 \text{ V}/\text{Einheit}$, bei (c): $10 \text{ V}/\text{Einheit}$.

Amplitude ist derselbe wie in Abbildung 4a. Gegenüber dem Spektrum des unmodulierten Lasers (Abb. 4a) weist das Spektrum des modulierten, rauscharmen Lasers nicht mehr den $1/f$ -artigen Verlauf des Kontinuums im niederfrequenten Bereich auf. Die Modulation bei 173 kHz bedingt einen verstärkten Anstieg der relativen Amplitude bei dieser Frequenz.

Die bei den Röhren mit anderen Kapillarmessungen erzielten Ergebnisse hinsichtlich der Reduzierung der Fluktuationen und der Zunahme der Laserausgangsleistung sind in Tab. 1 zusammengestellt. Bezüglich des Zeit- und Frequenzbereiches weisen sie prinzipiell das gleiche Verhalten auf, wie es in den Abb. 3a, b und 4a, b am Beispiel der Röhre 3 dargelegt wurde.

Die Verfasser haben gezeigt, daß sich die Fluktuationen in der Ausgangsleistung eines He-Cd-Lasers durch eine Modulation des Entladungsstromes bei bestimmten Frequenzen, die ihrerseits durch die Schichtungsfrequenzen in der Kapillare der Laserröhre gegeben sind, beträchtlich reduzieren lassen. Dieses Verfahren zur Realisierung rauscharmer He-Cd-Laser läßt sich bei den He- und Cd-Partialdrucken und Stromstärken durchführen, bei denen die Laser im unmodulierten Fall ihre maximale Ausgangsleistung aufweisen. Darüber hinaus führt die Modulation des Entladungsstromes zu einem Anstieg der Laserausgangsleistung von 10–25% gegenüber dem unmodulierten Laser.

Die dieser Veröffentlichung zugrundeliegenden Arbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziell unterstützt.

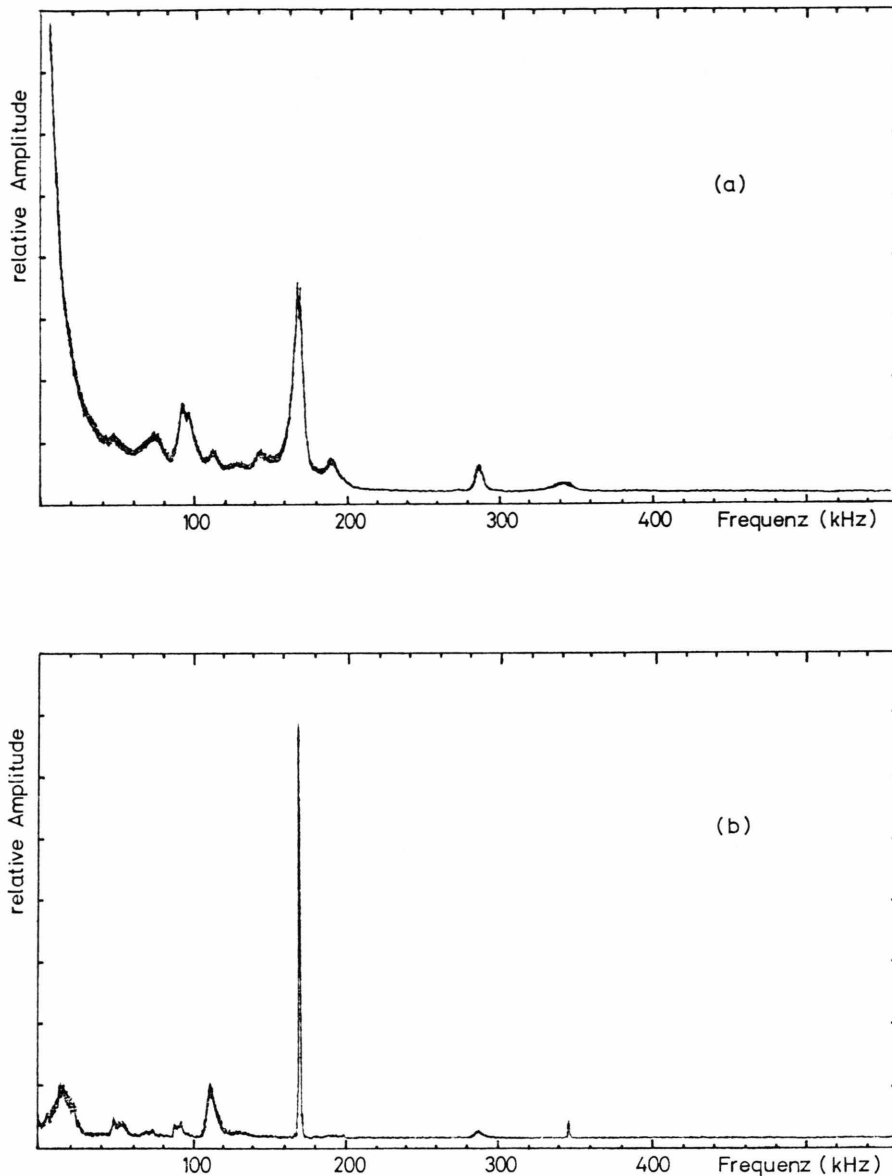


Abb. 4. Frequenzspektren des Lasersignals von Röhre 3: a) ohne Modulation, b) mit Modulation bei einer Modulationsfrequenz von 173 kHz. Gleicher linearer Amplitudenmaßstab bei beiden Spektren.

- [1] J. R. Fendley Jr., I. Gorog, K. G. Hernqvist u. C. Sun, RCA Rev. **30**, 422 (1969).
- [2] D. C. Brown u. N. Ginsburg, Appl. Phys. Lett. **24**, 287 (1974).
- [3] K. G. Hernqvist, IEEE J. Qu. El. **QE-8**, 740 (1972).
- [4] Datenblatt der Firma LICONIX Lic 10-610-4K.
- [5] W. Knauer u. U. Penning, „Untersuchung der Instabilitäten in der Ausgangsleistung eines He-Cd-Lasers“, Abschlußbericht eines Forschungsprojekts der DFG, München 1977, Technische Informationsbibliothek, Hannover.
- [6] D. Fromm u. E. Schmidt, Z. Naturforsch. **30A**, 372 (1975).
- [7] T. F. Johnston u. W. P. Kolb, IEEE J. Qu. El. **QE-12**, 482 (1976).