

large fluctuations between adjacent samples, the limits for the  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  content being 5.4 and 13.5 mole %.<sup>9</sup>

The results reported here prove that solid zoning can be used as a method of purification. Although the number of possible applications is limited, because most solid systems do not fulfill the condition regarding the diffusion coefficient, the method might still be

<sup>9</sup> The samples were somewhat smaller than in the low-rate experiment, and the 95% confidence limits are  $0.87 < \sigma < 2.32$  for the Ag and  $0.95 < \sigma < 2.51$  for the  $\text{SO}_4$  determination. In spite of the standard deviation being higher,

of value, since it offers a possibility to do zone refining at a temperature far below the melting point of the substance.

This investigation is supported by the Swedish Technical Research Council. We acknowledge the assistance of Mrs. L. JANSEN with the chemical analysis.

it is obvious that the fluctuations between adjacent samples were much larger in the experiment at a rather high rate, than in the first experiment.

## Spikefreie Emission eines kontinuierlichen Rubinlasers

K. GÜRS

Forschungslaboratorium der Siemens & Halske AG, München  
(Z. Naturforsch. **20 a**, 740—741 [1965]; eingegangen am 12. April 1965)

In Fortführung der Arbeiten über das Schwingungsverhalten des Rubinlasers ist es gelungen, einen Rubinlaser bei Kühlung mit flüssigem Stickstoff spikefrei kontinuierlich zu betreiben. Wesentlich für die Ausdämpfung der Relaxationsimpulse (Spikes) — gegenüber den früheren Ergebnissen von NELSON und BOYLE<sup>1</sup> — ist die hohe Dotierung der Rubine (bis 0,04% Chrom), die Verwendung von langen Kristallen (57 mm) mit sphärischen „fast“ konfokalen Spiegeln und eine günstige Symmetrie der Pumplichteinstrahlung.

In den früheren Arbeiten<sup>2 a—e</sup> konnte bereits für den Impulslaser gezeigt werden, daß sich unter bestimmten Bedingungen eine Emission ohne Spikes ergibt. Eine solche erhält man durch geeignete Wahl der Abmessungen des Lasers und der Arbeitsbedingungen. Günstige Bedingungen<sup>2</sup> für ein Ausdämpfen der Relaxationsimpulse sind

1. geringe Resonatorverluste pro Durchgang,
2. große Resonatorlänge (also insgesamt geringe Verluste pro Zeiteinheit, d. h. große Resonatorgüte),
3. große Pumpleistung,
4. hohe Dotierung,
5. Kühlung des Kristalls auf tiefe Temperaturen<sup>3</sup> (das Produkt  $\tau \cdot \Delta r$  aus Lebensdauer und Linienbreite wird dadurch kleiner) und
6. Verwendung von sphärischen Spiegeln in „fast“ konfokaler Anordnung.

<sup>1</sup> D. F. NELSON u. W. S. BOYLE, Appl. Opt. **1**, 181 [1962].

<sup>2</sup> a K. GÜRS, Z. Naturforsch. **17 a**, 991 [1962]; b Z. Naturforsch. **18 a**, 418 [1963]; c Proc. 3rd Intern. Symp. on Quantum Electronics, Paris 1963, S. 1113; d Z. Naturforsch. **18 a**, 1363 [1963]; e Proc. Intern. Symp. on Laser

Diese Bedingungen gelten natürlich auch für den Dauerbetrieb, sie sind dabei allerdings zum Teil schwer zu erfüllen. Wir erinnern z. B. an die geringe Dotierung der „Trompete“, die bei dem bisher einzigen mit flüssigem Stickstoff gekühlten kontinuierlichen Rubinlaser von NELSON und BOYLE<sup>1</sup> als Kristall verwendet wurde. Die Trompete bestand aus einem 11,5 mm langen Rubinteil mit 0,006% Chromdotierung und einem sich kegelförmig erweiternden Saphirteil. Das Pumplicht wurde durch die Kegelbasis hindurch an dem einen Laserspiegel vorbei eingestrahlt und durch Totalreflexion im Kristall gehalten.

Die genannte Bedingung 4 einer hohen Dotierung bedeutet nun, daß das Pumplicht im Kristall bereits über kleine Strecken absorbiert wird. Der Kristall kann also nicht wie die „Trompete“ in Längsrichtung (von einem Ende her) gepumpt werden. Vielmehr muß man das Pumplicht durch die Mantelfläche der Kristalle hindurch einstrahlen, d. h. man muß auf stabförmige Lampen (und elliptische Reflektoren) zurückgreifen.

Die Frage war nun, ob diese Lampen die erforderliche Leistung abgeben. Eine diesbezügliche Abschätzung gelingt bereits mit Hilfe von Impulsmessungen. Nach diesen Messungen sollte, wie schon früher angegeben<sup>2 e</sup>, der Schwellwert bei 4 cm langen Rubinkristallen und angepaßter Lampe um etwa den Faktor 3 höher liegen als bei Neodym-dotiertem Calciumwolframat. Da bei diesem Material der Schwellwert für kontinuierlichen Betrieb etwa bei 500 W liegt, eine 4 cm lange Quecksilberkapillarlampe jedoch eine Nennleistung bis zu 3200 W besitzt, sollte also auch für Rubine hoher Dotierung ein Dauerbetrieb möglich sein, und zwar bei Pumpleistungen bis zu mehr als dem doppelten Schwellwert.

Im Hinblick auf die Bedingungen 2 und 3 wurden für unsere Experimente relativ lange Kristalle vorgesehen, und zwar passend zu den besonders leistungsfähigen Quecksilberkapillarlampen der Type A 1679

Physics and Applications, Bern, Oktober 1964, Tagungsheft Z. Angew. Math. Phys. **18**, 49 [1965].

<sup>3</sup> S. KOOZEKANANI, M. CIFTAN u. A. KRUTCHKOFF, Appl. Opt. **1**, 372 [1962].



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.

(PEK). Diese Lampen besitzen einen Bogendurchmesser von 1 mm, eine Bogenlänge von 2 Zoll und 4 kW Nennleistung. Zur Bündelung des Pumplichts wurde ein zylinderelliptischer Reflektor verwendet, über den sich Einzelheiten in einer vorangehenden Arbeit<sup>4</sup> finden.

Zur Kühlung wurde der flüssige Stickstoff durch Abpumpen auf die Temperatur seines Erstarrungspunktes gebracht; er wurde dann am Kristall vorbeigepumpt. Eine DEWAR-Füllung von 25 l reichte dabei für eine Versuchsdauer von gut 10 Minuten. — Um das Kondensieren von Luft oder das Ausfrieren von Wasserdampf am Kühlrohr zu vermeiden, wurde der Reflektor mit Heliumgas gespült.

Ein kontinuierlicher Betrieb ergab sich bereits mit normalen Rubinkristallen von 3 mm Durchmesser, 35 mm Länge und 0,04% Dotierung. — Speziell für diese Versuche hergestellt und besonders geeignet war ein 2,2 mm dicker Kristall mit einem Rubinmittelteil (Dotierung 0,03% Chrom) von 47 mm Länge und zwei undotierten Saphiren von je 5 mm Länge. An diesen Enden konnte der Kristall ohne Abschattung aktiven Materials eingespannt und gegen das Kühlmittel abgedichtet werden. Der Kristall hatte sphärische Spiegel mit 50 mm Krümmungsradius, die Spiegel waren versilbert.

Mit diesem Kristall setzte (bei Stickstoffkühlung) in den Brummspitzen der Gleichbelichtung (Welligkeit 30%) bereits bei 1090 W mittlerer Leistung eine Emission ein. Die Emission war bei 1270 W auf die halbe Brumpperiode und ab 1440 W auf die ganze Periode ausgedehnt. Die Pumpleistung wurde bei diesen Versuchen bis auf 2000 W erhöht.

Dabei zeigte sich, daß bei günstiger Pumplichtsymmetrie praktisch keine Relaxationsschwingungen auftraten (Abb. 2); eine gelegentliche Welligkeit lag unter 5%. — Die Symmetrie der Pumplichteinstrahlung konnte durch Verschieben der Lampe (von der Brennlinie hinweg) geändert werden, was zum Auftreten überlagerter Relaxationsschwingungen führte (Abb. 1). Bei 1600 W konstanter Pumpleistung war auf diese Weise eine Welligkeit der Emission bis zu 25% zu beobachten.

Wesentlich schwieriger ist eine Emission ohne Spikes bei Zimmertemperatur zu erzielen. EVTUHOV und NEELAND<sup>5</sup> sowie RÖSS<sup>6</sup> berichten über den Dauerbetrieb bei Wasserkühlung mit einem hochdotierten stabförmigen Rubinkristall von 25 mm Länge. In beiden Fällen ergab sich eine Emission mit ausgeprägten Relaxations schwingungen.

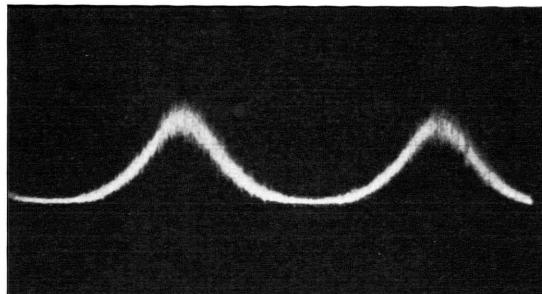


Abb. 1. Emission des kontinuierlichen mit flüssigem Stickstoff gekühlten Rubinlasers bei 1430 W mittlerer Pumpleistung; unsymmetrische Pumplichteinstrahlung.

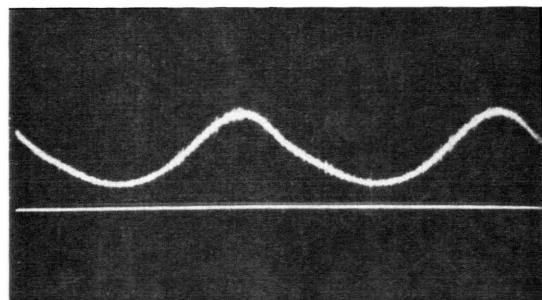


Abb. 2. Spikefreie Emission des kontinuierlichen Rubinlasers bei 1600 W; Welligkeit des Pumplichts 30% (100 Hz). Die Empfindlichkeit des Oszilloskopographen war gegenüber Abb. 1 um den Faktor 5 vermindert.

In der vorliegenden Anordnung und mit dem hier beschriebenen Kristall konnte ebenfalls ein Dauerbetrieb bei Wasserkühlung erreicht werden<sup>4</sup>; dabei ließ sich bereits (bei günstiger Justierung der Lampe) eine Emission mit nur einem geringen Anteil überlagerter Relaxationsschwingungen einstellen. Der Einfluß der Pumplichtsymmetrie und -intensität war dabei noch wesentlich stärker als im Fall der Kühlung mit flüssigem Stickstoff. — Es ergaben sich neue Hinweise auf die theoretische Deutung der Frage der ungedämpften Relaxationsschwingungen. Die Untersuchungen dazu sind noch im Gange, und es soll an anderer Stelle darüber berichtet werden.

Der verwendete Rubinkristall mit den Übergängen zu Saphir wurde in diesem Laboratorium von Herrn Dr. GRABMAIER gezogen, dem ich für die sorgfältige Herstellung besonders danke.

<sup>4</sup> K. GÜRS, Phys. Letters, in Vorbereitung.

<sup>5</sup> V. EVTUHOV u. J. K. NEELAND, Appl. Phys. Letters **6**, 75 [1965].

<sup>6</sup> D. RÖSS, Microwaves (im Druck) und Physikertagung Fachausschuß Hochfrequenzphysik in Würzburg, April 1965.