

Element	Mg	Zn	Cd	Si
$k_0^2$	0,70	0,77	0,13	0,40
$C_M [10^{19} \text{ cm}^{-3}]^3$	$>3,0$	$>3,0$	$>1,0$	$>5,0$
$C_M [10^{19} \text{ cm}^{-3}]^4$	$>0,52$	$>0,022$	$>1,6$	

Element	Ge	Sn	S	Se	Te
$k_0^2$	0,07	0,09	1,0	0,93	0,44
$C_M [10^{19} \text{ cm}^{-3}]^3$	$>1,0$	$>1,0$	$>8,0$	$>7,0$	$>2,0$
$C_M [10^{19} \text{ cm}^{-3}]^4$					$>0,2$

Tab. 1. Verteilungskoeffizienten  $k_0$  und atomare maximale Löslichkeiten  $C_M$  verschiedener Verunreinigungen in Indiumarsenid.

merhin zeigt die Auftragung der in Tab. 1 vorliegenden Ergebnisse in Abb. 1 etwa den entsprechenden Verlauf, wenn man die vom Verfasser angegebenen Werte<sup>2, 3</sup> zugrunde legt. Während für Magnesium der Grenzbereich eingezeichnet worden ist, sind für die anderen Elemente die Punkte der maximalen Löslichkeiten durch einen Pfeil zu höheren Werten hin gekennzeichnet. Die von EDMOND angegebenen unteren Grenzwerte<sup>4</sup> liegen dagegen wesentlich tiefer, so daß sie nicht in das vorliegende Bild hineinpassen.

Legt man einen Zusammenhang nach Abb. 1 zugrunde, so dürften die in Tab. 1 angegebenen unteren Grenzwerte für die maximalen Löslichkeiten im allgemeinen den tatsächlichen Werten recht nahe kommen. Die Abweichungen von der eingezeichneten Diagonale liegen praktisch innerhalb des Faktors 2 und damit innerhalb des gleichen Bereiches, wie er auch von FISCHLER angegeben wurde. Sie werden noch geringer,

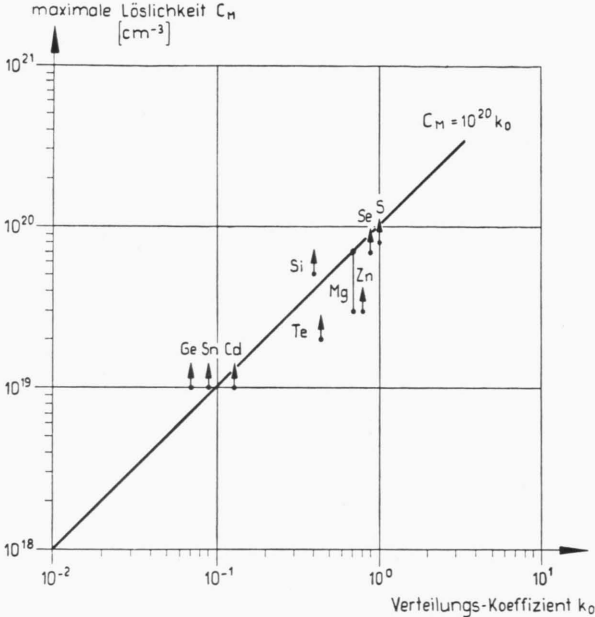


Abb. 1. Zusammenhang zwischen der atomaren maximalen Löslichkeit  $C_M$  und dem Verteilungskoeffizienten  $k_0$  für Verunreinigungen in Indiumarsenid.

wenn für Magnesium der obere Grenzwert zugrunde gelegt wird und die Werte für Tellur und Zink mit  $4 \cdot 10^{19}$  bzw.  $7 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  angenommen werden. Damit ergäbe sich für Indiumarsenid ein Zusammenhang

$$C_M \approx 10^{20} k_0.$$

<sup>2</sup> E. SCHILLMANN, Z. Naturforschg. **11 a**, 463 [1956].  
<sup>3</sup> E. SCHILLMANN, Kap. 40 in Compound Semiconductors, Vol. I: Preparation of III-V-Compounds, herausgeg. v. R. K.

WILLARDSON u. H. L. GOERING, Reinhold Publishing Corp., New York 1962.  
<sup>4</sup> J. T. EDMOND, Proc. Phys. Soc., Lond. **73**, 622 [1959].

Einschwingverhalten torischer Rubin-Laser in Abhängigkeit von der Pumpleistung \*

VON HARALD HANTSCHKE UND DIETER RÖSS

Mitteilung aus dem Zentral-Laboratorium der Siemens & Halske AG., München

(Z. Naturforschg. **18 a**, 1020—1021 [1963]; eingeg. am 6. August 1963)

Torische Rubin-Laser mit gleichmäßiger Oberflächenpolitur schwingen bei hoher Pumpleistung völlig regelmäßig gedämpft periodisch innerhalb etwa 30  $\mu\text{s}$  auf eine kontinuierliche Emission ein. Unregelmäßigkeiten der Relaxationsschwingung, die wir bei unseren ersten Experimenten mit torischen Resonatoren beobachtet hatten<sup>1</sup>, wurden durch Oberflächenfehler hervorgerufen,

die eine Modenselektion bewirken und Resonatorverluste verursachen. Knapp oberhalb der Schwellleistung ist die Relaxationsschwingung aperiodisch gedämpft. In Abb. 1 a ist die Emission eines unter  $0^\circ$  zur Kristallachse orientierten Rubintorus mit 0,035%  $\text{Cr}^{3+}$  bei verschiedenen Pumpenergien aufgezeichnet.

Um Versuchsergebnisse darzustellen, die mit einfachen Mitteln reproduziert werden können, wurde das tangential austretende Licht nur durch ein Interferenzfilter in der Bandbreite beschränkt. Neben der gegenüber dem Pumpblitz verzögert mit einer stark gedämpften Relaxationsschwingung einsetzenden Laserstrahlung ist auf den Aufnahmen daher noch ein maximal ein Skalenteil betragender Untergrund erkennbar, der sich zu 80% aus gestreutem Pumplicht, zu 20% aus Fluores-

\* Vorgetragen auf der Tagung der Physikalischen Gesellschaft in Bayern, April 1963, Erlangen.

<sup>1</sup> D. Röss, Proc. I. E. E. **51**, 468 [1963].



zenz zusammensetzt. Die Relaxationsschwingung bei vierfacher Schwellenergie (entsprechend der Kurve größter Amplitude in Abb. 1 a) ist in Abb. 1 b in zeitlich gedehntem Maßstab aufgezeichnet. Der Verlauf der Pumpleistung ist in Abb. 1 c dargestellt.

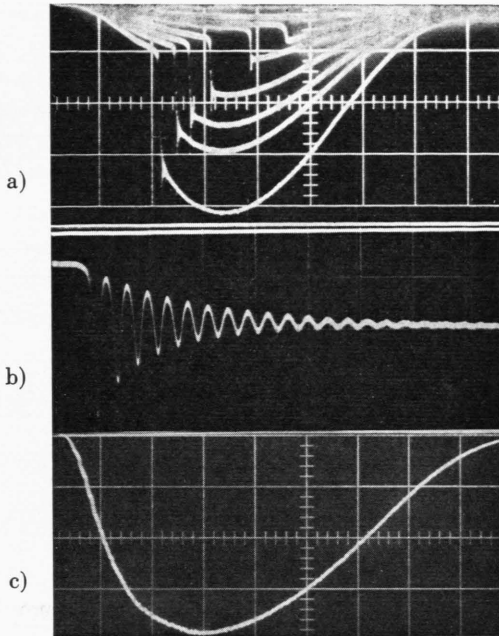


Abb. 1. Emission eines Rubin-Torus-Lasers bei Zimmertemperatur. a) Pumpenergie 200 Wsec—800 Wsec; 200  $\mu$ sec/cm, Ordinate negativ; b) Pumpenergie 800 Wsec; 5  $\mu$ sec/cm, c) Pumplicht (5500 Å), 200  $\mu$ sec/cm.

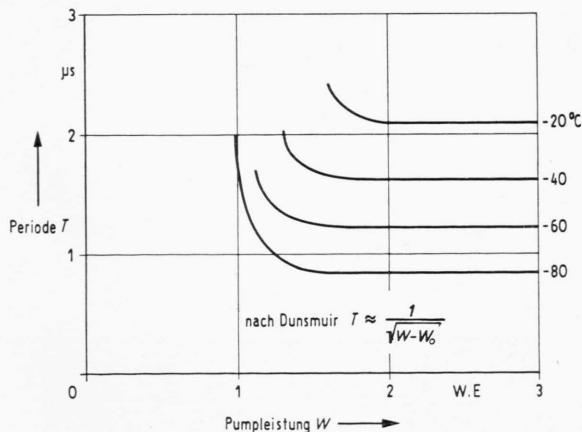


Abb. 2 a. Abhängigkeit der Relaxationsperiode  $T$  von der Pumpleistung.

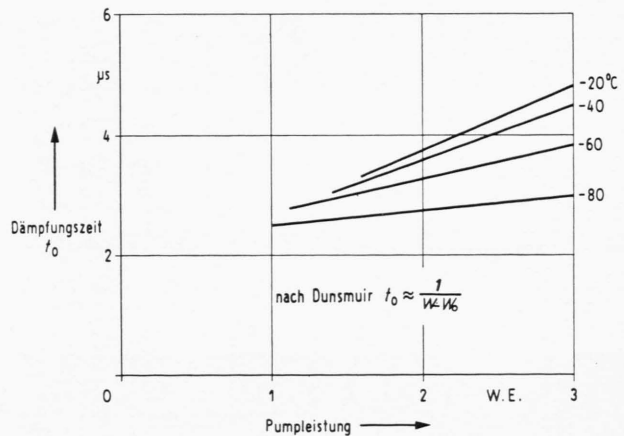


Abb. 2 b. Abhängigkeit der Dämpfungszeit  $t_0$  von der Pumpleistung.

Wir haben die Dämpfungszeit  $t_0$ , in der die Amplitude der Relaxationsschwingung auf  $1/e$  abfällt, und die Relaxationsperiode  $T$  in Abhängigkeit von der Pumpleistung  $W$  für verschiedene Temperaturen gemessen. Dabei kann wegen der kurzen Einschwingzeit die aus Abb. 1 c entnommene Pumpleistung während der Relaxationsschwingung als konstant angesehen werden.

Die Relaxationsperiode, die in Abb. 2 a dargestellt ist, sinkt für alle Meßtemperaturen oberhalb der Schwell-Leistung, wo sie größer als die Meßzeit ist, stark ab und wird dann konstant. Die Dämpfungszeit wächst für alle Temperaturen mit der Pumpleistung stetig an, wie dies in Abb. 2 b sichtbar ist. Rein phänomenologisch scheint das Einschwingverhalten den theoretischen Bedingungen von DUNSMUIR<sup>2</sup> völlig zu entsprechen, nach denen sich für einen optischen Resonator hoher Güte eine exponentiell gedämpfte periodische Relaxationsschwingung ergibt. Quantitativ bestehen jedoch starke Abweichungen. So ist nach DUNSMUIR für die Relaxationsperiode ein Abfall mit  $(W - W_0)^{-1/2}$ , für die Dämpfungszeit sogar mit  $(W - W_0)^{-1}$  zu erwarten, während wir eine konstante Relaxationsperiode und eine mit der Pumpleistung sogar ansteigende Dämpfungszeit beobachten. ( $W_0$  ist die für gleiche Besetzung des Niveaus nötige Pumprate.)

Wir schließen daraus, daß die bekannten Theorien von optischen Ein-Moden-Resonatoren das Schwingungsverhalten torischer Rubin-Laser nicht richtig beschreiben. Wir führen die regelmäßigen Relaxationsschwingungen torischer Rubin-Laser auf eine starke Kopplung zahlreicher Moden annähernd gleicher Güte zurück. Über theoretische Ansätze, welche dieses Verhalten berücksichtigen, hat einer der Autoren bereits kurz berichtet<sup>3</sup>; sie werden in Kürze ausführlich veröffentlicht werden.

<sup>2</sup> R. DUNSMUIR, J. Electron. Control **10**, 453 [1961].

<sup>3</sup> D. Röss, Tagung der Physikalischen Gesellschaft in Bayern, April 1963, Erlangen.