

Energiemessungen an einem Rubinlaser mit bewegtem Kristall

F. MALOTA

DFVLR, Institut für Flugfunk und Mikrowellen,
Oberpfaffenhofen

(Z. Naturforsch. **24 a**, 1285—1286 [1969]; eingegangen am 21. Juni 1969)

Energy measurements in a Ruby-Laser with moving crystal

Energy measurements were carried out on a Laser with a moving crystal. The energy emitted by a moving crystal could be shown to depend on the velocity. At a crystal velocity of approximately 50 cm/s the energy measured was 1.3 times greater than with stationary crystals.

TANG, STATZ und DE MARS konnten in einer Arbeit¹ zeigen, daß für das irreguläre Spiking die simultane Existenz mehrerer axialer Eigenschwingungen im Resonator verantwortlich gemacht werden kann. Da in einem Rubinlaser die Linienbreite vor allem von den Gitterschwingungen herrührt (homogen verbreiterte Linie), kann die Existenz mehrerer Eigenschwingungen auf eine räumliche Modulation der Besetzungsinversion zurückgeführt werden. Bei der Existenz einer axialen Mode haben die elektromagnetischen Feldkomponenten in axialer Richtung den Verlauf

$$E = A \cdot \sin \frac{2 \pi m z}{L}, \quad (1)$$

$$H = A^* \cdot \cos 2 \pi \frac{m z}{L}. \quad (1a)$$

(Wir betrachten im folgenden nur den elektrischen Vektor E , der für die induzierte Emission wirksam ist.) A und A^* Amplitude (willkürliche Einheiten), m ganze Zahl, L Länge des Resonators [cm].

Durch Quadrieren von (1) erhält man die Intensität des Feldes:

$$J = A^2 \sin^2 2 \pi m z / L. \quad (2)$$

Die Größe der induzierten Emission ist proportional dem Produkt aus Besetzungsinversion und Strahlungsintensität $J^{1,2}$. Nach den Bilanzgleichungen wird deshalb an den Stellen im Kristall, an denen der elektrische Vektor Bäuche besitzt, die Besetzungsinversion abgebaut. An den Stellen, bei denen der Vektor Knoten hat (also Null ist), behält die Besetzungsinversion ihren durch das Pumpen gegebenen Wert, wenn man von der spontanen Emission absieht. Der Verlauf der Besetzungsinversion kann durch die folgende Funktion dargestellt werden:

$$B = n_i [1 - \sin^2 (2 \pi m z / L)]; \quad (3)$$

n_i ist eine normalisierte Besetzungsinversion, $n_i = (N_2 - N_1) / N_0$, N_0 Anzahl der Laseratome in cm^3 , N_2 Anzahl der Atome im angeregten Zustand, N_1 Anzahl der Atome im Endzustand.

Die abgegebene Energie³ ist bei Annahme einer unmodulierten Besetzungsinversion gegeben durch:

$$E = \frac{1}{2} h \nu [n_i - n_f] V \approx \frac{1}{2} h \nu n_i q L \quad [\text{Joule}]; \quad (4)$$

q Querschnittsfläche des Kristalls [cm^2], h Plancksches Wirkungsquantum [$\text{Joule} \cdot \text{s}$], ν Frequenz der emittierten Strahlung [s^{-1}].

n_f kann man in erster Näherung vernachlässigen; n_f ist die Rest-Besetzungsinversion.

Bei einer modulierten Besetzungsinversion muß an Stelle von n_i in (4) die Beziehung (3) eingesetzt und über z integriert werden:

$$E = \frac{1}{2} h \nu n_i q \int_0^L \left\{ 1 - \sin^2 \left(\frac{2 \pi m z}{L} \right) \right\} dz = \frac{1}{2} h \nu n_i q L. \quad (5)$$

Die abgegebene Strahlungsenergie bei modulierter Besetzungsinversion (bei einer axialen Mode) ist um die Hälfte kleiner als bei der Annahme einer unmodulierten Besetzungsinversion. Im Normalfall emittiert ein Laser den in (5) angegebenen Wert. Da aber in einem Laser ohne besondere Einrichtungen mehrere axiale und transversale Moden schwingen können, wird sich der Energiebetrag (wegen der Geometrie) um einen gewissen Betrag erhöhen.

Bewegt man nun den Kristall zwischen zwei Spiegeln während der Emission, so kann sich bei einer bestimmten Geschwindigkeit des Kristalls keine Modulation der Besetzungsinversion aufbauen. Es sollte deshalb der in (4) angegebene Energiebetrag abgegeben werden. (KORPEL und FREE⁴ haben durch Vibration des Kristalls innerhalb eines Resonators eine reguläre Emission erhalten.)

Wir haben Energiemessungen an einem Rubinlaser mit bewegtem Kristall durchgeführt, um die oben gegebene Vorstellung zu überprüfen. Die verwendete Apparatur wird im folgenden kurz beschrieben.

Der Laser bestand aus zwei fest montierten Spiegeln (Reflexionsvermögen von 98% und 98,5%). Die Resonatorlänge war 56,2 cm. Der Rubinkristall befand sich in der Brennpunktlinie eines elliptischen Reflektors. Spezifikationen: $1/4'' \times 2''$, 0,04% Cr^{+++} (c -Achse 60° zur Stabachse orientiert). In der anderen Brennpunktlinie war eine Blitzlampe untergebracht. Der gesamte elliptische Reflektor, mit Kristall und Blitzlampe, wurde auf einen sehr genau gearbeiteten Schlitten montiert und konnte mit Geschwindigkeiten bis zu 150 cm/s bewegt werden. Die abgegebene kohärente Strahlungsenergie wurde auf verschiedenen Wegen gemessen (Abb. 1). Mit einer Anordnung (Photomultiplier, Integrierglied, Oszillograph) wurde die Strahlung integriert⁵. Mit der anderen Anordnung wurde die Strahlung mit Photomultipliern aufgenommen und aus den Aufnahmen die jeweilige Energie ausgerechnet⁵. Dabei wurden zwei

Sonderdruckanforderungen erbeten an: Dr. Friedrich Malota, DFVLR, Institut f. Flugfunk u. Mikrowellen, D-8031 Oberpfaffenhofen, Post Weßling.

¹ C. L. TANG, H. STATZ u. G. DE MARS, J. Appl. Phys. **34**, 2289 [1963].

² R. DUNSMUIR, J. Electron. Control **10**, 453 [1961].

³ W. G. WAGNER u. B. A. LENGUEL, J. Appl. Phys. **34**, 2040 [1964].

⁴ J. FREE u. A. KORPEL, Proc. IEEE **52**, 90 [1964].

⁵ E. SCHIEL, Proc. IEEE **51**, 365 [1963].



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.

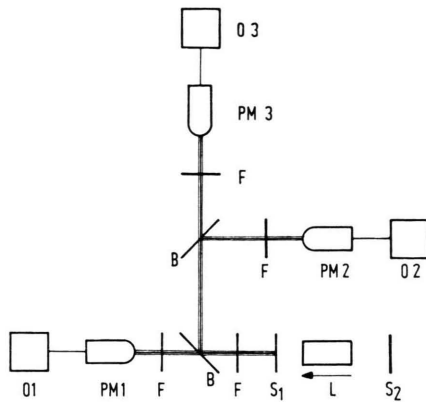


Abb. 1. Aufbau der Meßanordnung. L Laserkristall, S_1, S_2 Spiegel, F Filter, B Strahlungsteiler, PM1 Photomultiplier mit Integrierglied, O1 Oszillograph, PM2 Photomultiplier, O2 Oszillograph (Zeitauflösung 0,2 ms/cm), PM3 Photomultiplier, O3 Oszillograph (Zeitauflösung 20 μ s/cm).

Oszillographen verwendet, und zwar ein Oszillograph mit einer Zeitauflösung von 20 μ s/cm zur genaueren Auswertung der einzelnen Laserimpulse, ein anderer Oszillograph zur Gesamtaufnahme.

Die Messungen wurden bei verschiedenen Pumpleistungen durchgeführt (1,1; 1,2; 1,3-facher Schwellwert). Die Ergebnisse sind in Abb. 2 dargestellt. Die einzelnen Energien sind im stationären Fall alle auf 1 normiert. Die eingetragenen Meßpunkte sind Mittelwerte von je 10 Messungen. Die Abweichungen von Einzelmessungen können bis zu 20% vom Mittelwert betragen.

Aus Abb. 2 ist zu entnehmen, daß bei 1,2-fachem Schwellwert und bei der Geschwindigkeit von rund 50 cm/s des Kristalls eine 1,3-mal größere Energie abgegeben wird als im stationären Fall. Diese abgegebene Energie kann trotz Vergrößerung der Geschwindigkeit (bis auf 150 cm/s) nicht mehr gesteigert wer-

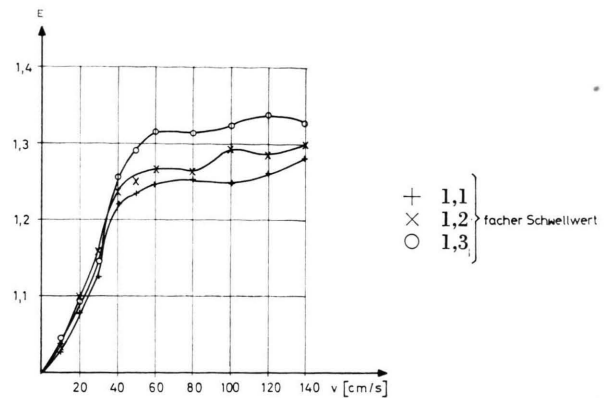


Abb. 2. Ausgestrahlte Energie in Abhängigkeit von der Kristallgeschwindigkeit. Abszisse beginnt mit Null, Ordinate mit Eins.

den. Im Gegensatz dazu steigt die Energie von der Geschwindigkeit 0 bis 50 cm/s fast linear an. Dieser Befund läßt sich einfach deuten: Bei der Geschwindigkeit von z. B. 10 cm/s wird noch nicht ganz eine halbe Wellenlänge (während des Lichtimpulses) überstrichen, sondern nur ein Teil davon. Deshalb wird nur ein kleiner zusätzlicher Teil der Besetzungsinversion abgebaut und dadurch die abgegebene Energie nur zum Teil erhöht.

Daß bei großen Geschwindigkeiten die Energie nicht mehr anwächst, liegt daran, daß bei unserem Resonator noch mehrere nicht-axiale und axiale Moden schwingen, die ebenfalls zur Emission beitragen. Schwingt nur eine axiale Mode im Hohlraum und wird nun der Kristall bewegt, so muß die nach Formel (4) angegebene Energie gemessen werden. Dieses Experiment soll noch durchgeführt werden. Die angegebenen Messungen bringen aber trotzdem einen einfachen Beweis, daß die Vorstellung von TANG et al. im Bereich des Rubinlasers richtig ist.