

Zeitabhängigkeit und Kompensation der thermischen Resonatorkrümmung von Festkörperlasern

D. RÖSS und G. ZEIDLER

Forschungslaboratorium der Siemens AG München

(Z. Naturforsch. **24 a**, 2027—2028 [1969]; eingeg. am 28. Oktober 1969)

In Festkörperlasern bildet sich auf Grund des Pumpleistungsumsatzes eine Temperaturverteilung aus, die den Laseroszillator beeinflusst^{1–3}. Bei kontinuierlich oder quasikontinuierlich gepumpten Lasern ist dieser Temperaturgradient stationär, so daß die Resonatord deformation einfach analysiert werden kann. Als Untersuchungsbeispiel für diesen Effekt wurde ein quasikontinuierlicher Rubinlaser^{4, 5} benutzt, bei dem der Betrieb unter wohldefinierten thermischen Verhältnissen zu einer gut reproduzierbaren Emission führt.

In der hier beschriebenen Arbeit wurde die Zeitabhängigkeit von Nah- und Fernfeld des thermisch gekrümmten Resonators und die Möglichkeit zur Kompensation der thermischen Effekte untersucht.

Kompensation der thermischen Resonatorkrümmung

Bei rotationssymmetrischer Ausleuchtung des Laserstrahls haben die thermischen Effekte in erster Näherung die Wirkung einer Sammellinse, deren Brennweite mit wachsender Pumpleistung abnimmt^{2, 3}. Durch eine Zerstreuungslinse entsprechender Brennweite im Resonator kann dieser Effekt für einen Leistungspegel kompensiert werden.

In einer Versuchsserie wurden die Stirnflächen von mehreren Rubinen gleicher Qualität (Czochralski-Material aus einem ausgesucht homogenen Rubin) mit konkaven Anschliffen versehen. Die direkt verspiegelten Stäbe zeigten, abhängig vom Krümmungsradius der Stirnflächen, erwartungsgemäß eine höhere Modenselektion bei gleichbleibender Ausgangsleistung als die eben angeschliffenen Stäbe. In Abb. 1 ist der Nahfelddurchmesser und die Strahlöffnung (beide als Maximalwerte während des Impulses gemessen) bei verschiedenen Krümmungsradien aufgezeichnet. Die maximale, transversale Modenzahl wurde aus diesen beiden Meßgrößen entsprechend der Theorie eines verallgemeinert konfokalen Resonators⁶ berechnet. Der Nahfelddurchmes-

ser bleibt im wesentlichen konstant, da er bei Multimodeemission etwa gleich dem Durchmesser des gepumpten Volumens, also bei unserer Anordnung des rotationssymmetrischen Ellipsoids gleich dem Lampendurchmesser ist. Die Strahlöffnung, und somit die Modenzahl, nimmt mit größer werdender negativer Brechkraft ab. Bei einer gegenüber der Messung von Abb. 1 um 25% verringerten Pumpleistung war die Modenzahl entsprechend niedriger, bei dem Rubin mit der stärksten negativen Brechkraft bestand die Emission nur aus Moden bis zur 4. Ordnung. Bei dieser Messung mußte der Stab so justiert werden, daß die Resonatorachse mit der durch das Beleuchtungssystem gegebenen thermischen Achse zusammenfällt.

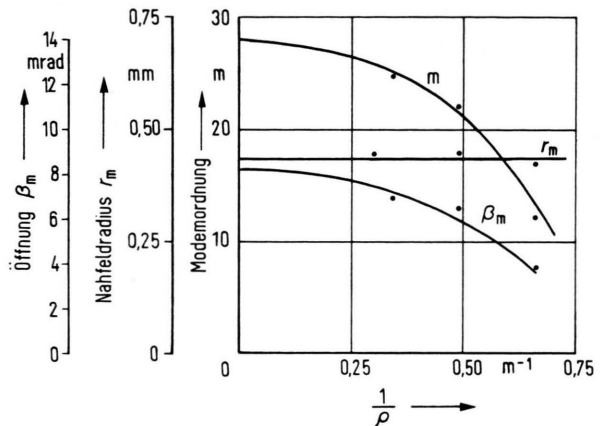


Abb. 1. Strahlöffnung β_m , Nahfelddurchmesser r_m und maximale transversale Modenzahl m bei Rubinen mit unterschiedlich konkav angeschliffenen Stirnflächen. ρ ist der Radius des Anschliffs.

Bei den Untersuchungen stellte sich heraus, daß eine vollständige Kompensation der thermischen Krümmung mit eindeutiger Grundmodenemission technisch nur sehr schwer realisierbar ist, da die Pumpleistung und die Stabkühlung kaum mit der erforderlichen Genauigkeit konstant auf einem definierten Wert zu halten sind. Außerdem stellt die Verwendung sphärisch negativ gekrümmter Endflächen nur eine Korrektur erster Ordnung für die thermisch erzeugte Krümmung des Resonators dar.

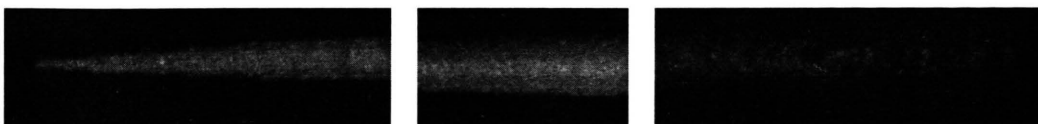


Abb. 2. Drei Ausschnitte aus der Laseremission, aufgenommen mit einer Drehspeikkamera.

Sonderdruckanforderungen an Dr. D. Röss, Forschungslaboratorium der Siemens AG., D-8000 München 25, Postfach 700.

¹ D. Röss, J. Appl. Phys. **37**, 3587 [1966].

² D. Röss, Z. Naturforsch. **21 a**, 1732 [1966].

³ G. ZEIDLER, Z. Naturforsch. **22 a**, 909 [1967].

⁴ D. Röss u. G. ZEIDLER, Electronics **39**, 115 [Sept. 5, 1966].

⁵ D. Röss u. G. ZEIDLER, Z. Naturforsch. **22 a**, 1387 [1967].

⁶ V. P. BYKOV u. L. A. VAINSHTEIN, Soviet Phys.-JETP **20**, 338 [1965].



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.

Zeitanalyse von Nah- und Fernfeld

Bei der Kompensation der thermischen Resonatorkrümmung ist die rotationssymmetrische Ausleuchtung des Kristalls wesentlich. Um diese Eigenschaften des Ellipsoidpumpspiegels zu demonstrieren, wurde die Feldverteilung mit einer Drehspiegelkamera zeitlich aufgelöst. Abbildung 2 zeigt drei Ausschnitte aus dem 1 ms langen Laserimpuls bei zentrischer Justierung eines ebenen angeschliffenen Kristalls. Die Emission beginnt im Grundmode und geht dann Schritt für Schritt in immer höhere Ordnungen über, die symmetrisch zur Stabachse liegen. In Abb. 3 wurde die

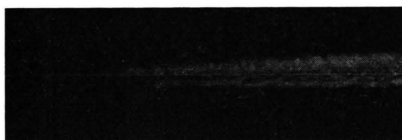


Abb. 3. Laserstrahlung bei asymmetrischer Pumpbeleuchtung.

Pumplampe gegen die Rotationsachse des Ellipsoids verkippt, so daß der Rubin nicht mehr kreissymmetrisch ausgeleuchtet wurde. Der thermische Gradient und die davon beeinflusste Modenkonfiguration sind ebenfalls nicht mehr zur Rotationsachse symmetrisch; die Ausgangsleistung ist dabei wegen des geringeren aktiven Volumens und wegen der Moden mit höheren Verlusten geringer.

Bei dem hier analysierten quasikontinuierlichen Betrieb (50 Hz Folgefrequenz) sind die Verhältnisse komplizierter als in echt kontinuierlicher Betriebsweise: Der thermische Gradient im Material ist zeitlich nicht völlig konstant, es überlagern sich dem Mittelwert periodische Schwankungen mit der Pulsfolgefrequenz. Die Brechkraft der thermischen Linse ändert sich daher

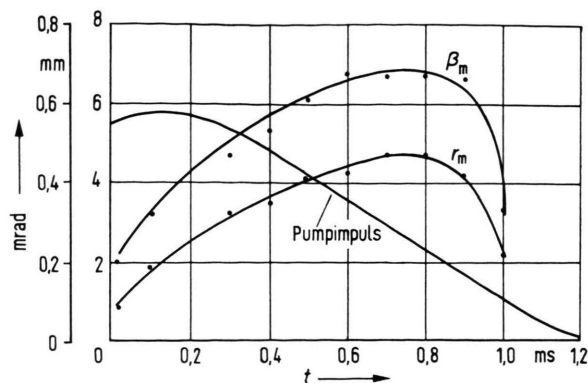


Abb. 4. Zeitverlauf von Strahlöffnung β_m und Nahfeldradius r_m während eines Laserimpulses.

während des Laserimpulses. Als weitere Komplikation ist die inhomogene Pumplichtverteilung im Kristall zu beachten. Die Schwellenergie wird dadurch in der Stabmitte zuerst erreicht, wo in einem schmalen Faden der Grundmode schwingungsfähig ist. Im weiteren Verlauf des Impulses expandiert das aktive Volumen, wobei, unter gleichzeitiger Änderung der Resonatorkrümmung, Moden von immer höherer Ordnung anschwingen. Der Zeitverlauf eines solchen Prozesses ist in Abb. 4 gezeichnet. Mit der Drehspiegelkamera wurde Strahlöffnung und Nahfeldradius eines parallel angeschliffenen Kristalls während des Laserimpulses aufgenommen. Beide Größen zeigen, entsprechend der Theorie verallgemeinert konfokaler Resonatoren, einen ähnlichen Zeitverlauf. Sie erreichen knapp vor Ende des Laserimpulses ihr Maximum, was damit zusammenhängt, daß zu diesem Zeitpunkt die Schwellenergie auch in den Randbezirken überschritten wird.