

Detektion von kondensierten Dämpfen mit photorefraktiven Kristallen

V. Matusevich, K. Pismennaya, A. Kiessling, R. Kowarschik

Institut für Angewandte Optik, Friedrich-Schiller-Universität Jena

<mailto:Vladislav.Matusevich@uni-jena.de>

Wir stellen einen Aufbau für die optische Detektion von kondensierten Dämpfen oder Flüssigkeiten mit photorefraktiven Kristallen am Beispiel eines BCT-Kristalls vor. Hierbei nutzen wir einen selbstgepumpton phasenkonjugierenden Spiegel (SPPCM) zusammen mit dem Effekt der Totalreflexion. Das Zeitverhalten der phasenkonjugierten Reflexion (PCR) in Abhängigkeit vom Eintrittswinkel des Signalbündels im Kristall und die Reaktion der PCR auf Wasser- und Öltröpfen wird demonstriert.

1 Einführung

Die optische Detektion von Flüssigkeiten und ihren Dämpfen spielt sowohl in der Industrie als auch in der Wissenschaft eine wichtige Rolle. In der Literatur findet man unterschiedliche Detektionsmethoden, die von Wellenleitern mit speziellem Mantel [1], über absorbierende Materialien [2], Totalreflexion [3] bis hin zur Ellipsometrie [4] reichen.

2 Ziel

In dieser Arbeit stellen wir einen experimentellen Aufbau für die optische Detektion kondensierter Dämpfen oder Flüssigkeiten mittels photorefraktiver Kristalle (z. B. Barium-Kalzium-Titanat oder Barium-Titanat) vor. Hierbei nutzen wir einen selbstgepumpton phasenkonjugierenden Spiegel (SPPCM) zusammen mit dem Effekt der Totalreflexion. Aus dem Zeitverlauf der phasenkonjugierten Reflexion (PCR) in Abhängigkeit vom Eintrittswinkel des Signalbündels im Kristall und der Reaktion der PCR auf Wasser- und Öltröpfen, die auf die Kristalloberfläche aufgebracht werden, kann eine Messgröße zur Detektion der Flüssigkeitsschicht abgeleitet werden.

3 Experiment

Das Grundprinzip eines SPPCM kann auf folgende Weise beschrieben werden (Abb. 1). Das Laserbündel 1 tritt in den Kristall ein und verursacht dort eine selbstinduzierte Lichtstreuung 2 (sogenanntes Fanning). Die Streurichtung hängt von den Eigenschaften des Kristalls ab. Man kann aber immer eine solche Geometrie finden, dass sich der größte Teil der Intensität des Bündelfannings zur Kante des Kristalls hin ausbreitet und eine Retroreflexion erfährt (Bündel 3). Das Bündel 1 und das Streubündel 2 schreiben ein holographisches Gitter im Kristall ein, wobei das Bündel 1 als Referenzbündel angesehen werden kann, während Bündel 2 das Signalbündel ist. Da die Streuwelle 2 aus einer

Superposition von ebenen Wellen besteht, wird das retro-reflektierte Bündel 3 zur phasenkonjugierten Welle einer der ebenen Wellen des Bündels 2. Somit entspricht die Geometrie des holographischen Gitters der Bragg-Bedingung für das Bündel 3, wobei das gebeugte Bündel 3 das Bündel 4 generiert, das phasenkonjugiert bzgl. des Bündels 1 ist. Das bedeutet, dass sich das Bündel 4 entgegengesetzt zu Bündel 1 entlang der gleichen Strecke ausbreitet und unabhängig von der Streckengeometrie in Richtung auf die Signalquelle zurückläuft. Eine ausführlichere Beschreibung des Effektes eines SPPCM findet man z. B. in [5].

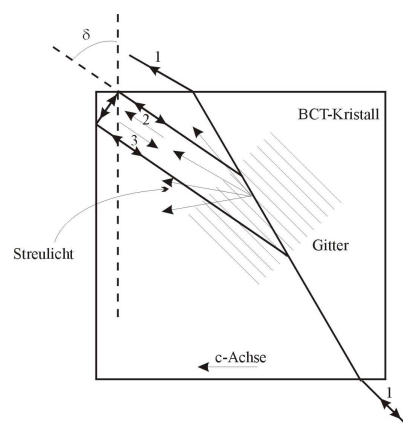


Abb. 1 Selbstgepumpton phasenkonjugierender Spiegel (SPPCM). Die Laserbündel 1-4 sind im Text erklärt.

Der experimentelle Aufbau (Abb. 2) zur Detektion von Flüssigkeiten besteht aus einem Nd:YAG-Laser (532 nm) mit einem Bündeldurchmesser von 2 mm, einem 90° - Prisma aus BK-7 (Brechzahl 1,5) und einem Barium-Kalzium-Titanat-Kristall (1cm x 1cm x 1cm, Brechzahl 2,4). Zwischen Prisma und Kristall befindet sich Immersionsöl mit einer Brechzahl von 1,5. Die Intensität des Eintrittsbündels beträgt 5 mW/cm^2 .

Die Abhängigkeit der jeweiligen Maximalwertes der PCR vom Eintrittswinkel α ist in Abb. 3 dargestellt. Dabei wird der Eintrittspunkt des Bündels in den Kristall für jeden Winkel so gewählt, dass eine maximale PCR erreicht wird.

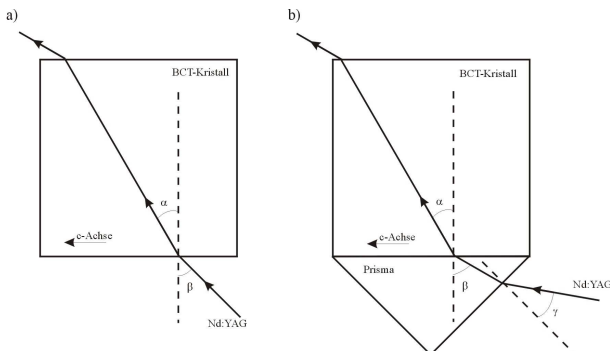


Abb. 2 Bündelausbreitung im Kristall a) beim Eintritt aus der Luft, b) beim Eintritt aus dem 90° -Prisma.

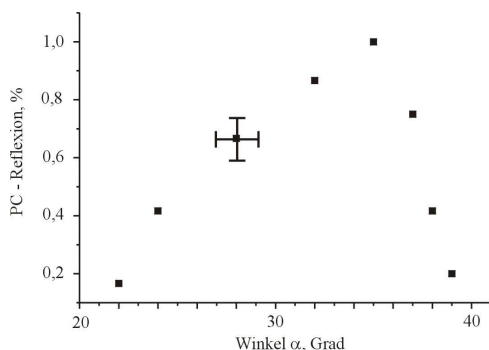


Abb. 3 Abhängigkeit der PC-Reflexion vom Ausbreitungswinkel des Eintrittsbündels im Kristall.

Die Abb. 4 zeigt den Zeitverlauf der PCR für drei charakteristische Ausbreitungswinkel α von 22° , 35° und 39° . Die Sättigungszeit, innerhalb der die PCR den Wert 1,0 zum ersten Mal erreicht, ist für alle untersuchten Winkel in Abb. 5 angegeben.

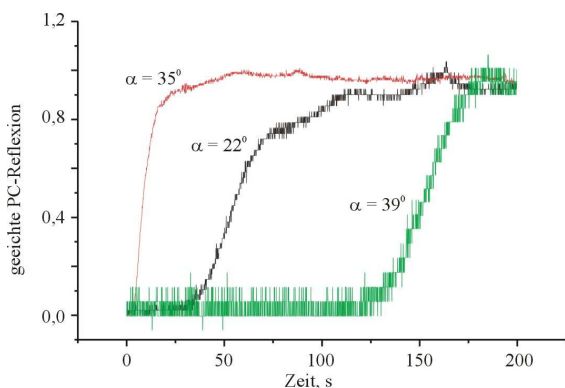


Abb. 4 Zeitverlauf der PCR für drei charakteristische Ausbreitungswinkel (22° , 35° , und 39°).

Wenn man die Kante des Kristalls mit einem Wasser- bzw. Immersionsöltropfen anfeuchtet, ver-

schwindet die PCR für kurze Zeit und tritt nach der Verdunstung wieder auf. Wenn der Ausbreitungswinkel zwischen 35° und 37° liegt, kann dieser Effekt nur für das Immersionsöl ($n = 1,5$) beobachtet werden. Für größere Winkel verschwindet der Effekt auch für das Immersionsöl (Abb. 6).

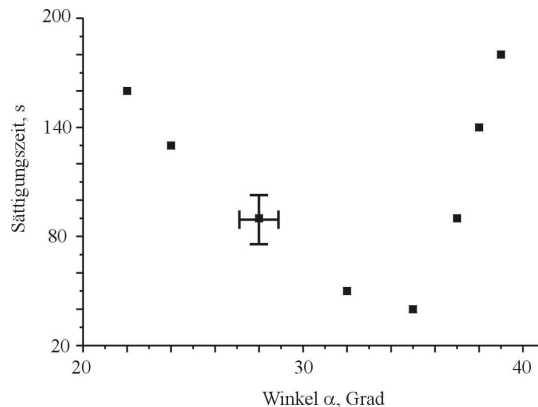


Abb. 5 Sättigungszeit der PCR in Abhängigkeit vom Ausbreitungswinkel des Eintrittsbündels.

Allerdings muss der Sensor für den jeweiligen Einsatz kalibriert werden, um die Messfehler unter 10 % halten zu können. Wenn man anstelle des Lasers eine Laserdiode als Lichtquelle verwendet, können auch Probleme mit der Kohärenzlänge auftreten, da das Bündel im Kristall mindestens eine Kohärenzlänge von 5-7 mm haben muss (bei typischen Kristallabmessungen bis maximal 1 cm Kantenlänge).

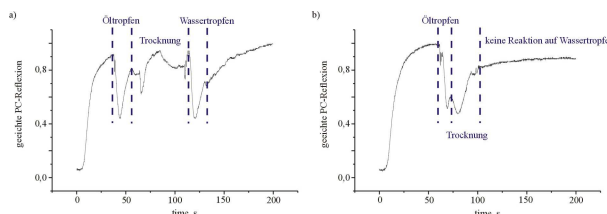


Abb. 6 Abhängigkeit der PCR von Wasser- und Öltropfen a) für Ausbreitungswinkel unter 35° und b) für Ausbreitungswinkel zwischen 35° und 37° . Für Ausbreitungswinkel größer als 37° wird die weder für Wasser noch für Öl eine Reaktion beobachtet.

4 Literatur

1. M. Yokata, T. Yoshino, Appl. Opt. 37, 2526 (1998)
2. D. C. Bownass, J. S. Barton, J. D. C. Jones, Opt. Lett. 22, 346 (1997)
3. Y. Kostov, G. Rao, Review of Scientific Instruments 71, 4361 (2000)
4. A. Ivarez-Herrero, R. L. Heredero, E. Bernabeu, D. Levy, Appl. Opt. 40, 527 (2001)
5. J. Feinberg, Opt. Lett. 7, 486 (1982)