

# Messung der evaneszenten Felder wellenleitender Strukturen in Lithiumniobat

Julia Hahn, Jürgen Petter, Theo Tschudi

Institut für Angewandte Physik, Technische Universität Darmstadt

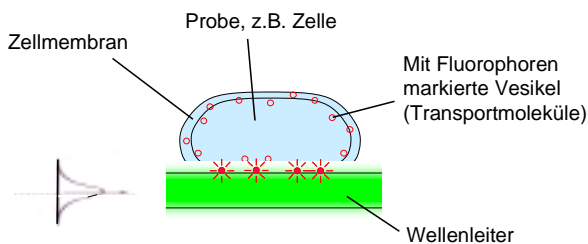
<mailto:julia.hahn@physik.tu-darmstadt.de>

Zur Vermessung und Charakterisierung biologischer Proben mit hoher Tiefenauflösung können nahfeldoptische Methoden eingesetzt werden [1,2]. Dazu wurden wellenleitenden Strukturen in Lithiumniobat-Kristallen von einigen  $\mu\text{m}$  Breite verwendet und die evaneszenten Felder des geleiteten Lichts mit SNOM Techniken untersucht und charakterisiert.

## 1 Motivation

Um optische Untersuchungen an Zellmembranen durchzuführen, muss man sich sogenannter Nahfeldtechniken bedienen, da ihre Dicke von etwa 10 nm nicht mit konventionellen Lichtmikroskopen aufgelöst werden kann.

Hierzu sollen Transportmoleküle (Vesikel) mit fluoreszenten Farbstoffen markiert werden, die dann ausschließlich in der Zellmembran durch das evaneszente Feld einer im Wellenleiter geführten Mode beleuchtet und angeregt werden, wie in Abb. 1 skizziert.



**Abb. 1** Anregung der fluoreszenten Transport-Vesikel in der Zellmembran durch das evaneszente Feld

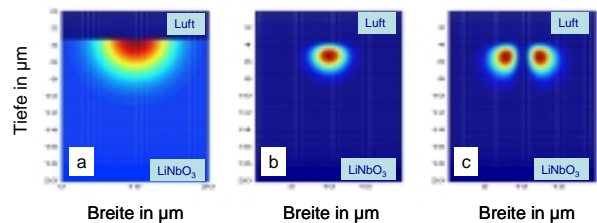
Insbesondere wird hierbei die Kenntnis des Höhenprofils des evaneszenten Feldes benötigt.

Dazu werden die für diese Untersuchungen verwendeten wellenleitenden Strukturen in Lithiumniobatkristallen ( $\text{LiNbO}_3$ ) von etwa  $6 \mu\text{m}$  Breite untersucht und die evaneszenten Felder des geleiteten Lichts mit SNOM-Techniken vermessen. Zur weiteren Charakterisierung werden numerische Simulationen durchgeführt und deren Ergebnisse mit den experimentellen verglichen.

## 2 Simulation von Brechungsindex und Modenverteilung

Abb. 2 zeigt in a) die numerische Simulation des Brechungsindexprofils des verwendeten Wellenleiters in  $\text{LiNbO}_3$ . Die Form dieses Gradientenindexprofils ergibt sich aus den Parametern des Herstellungsprozesses (Titaneindiffusion).

In der Struktur können sich bei einer Wellenlänge von  $\lambda=514 \text{ nm}$  zwei transversal elektrische Moden ausbreiten, die in Abb. 2 b und c dargestellt sind.

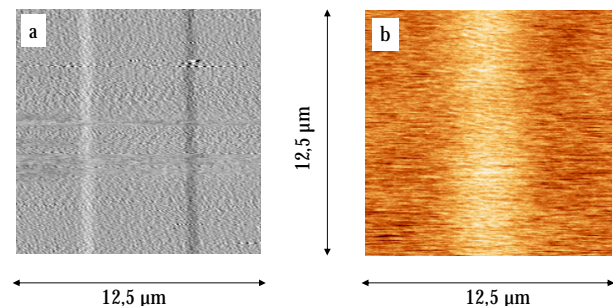


**Abb. 2** Numerische Simulation; a: Brechungsindexprofil des Wellenleiters; b und c: Intensität der geführten TE-Moden ( $\lambda = 514 \text{ nm}$ )

Aus diesen Simulationen können die benötigten Informationen über das evaneszente Feld an der Oberfläche erhalten werden (vgl. auch Kap. 3).

## 3 Messung des evaneszenten Feldes mit SNOM

Das evaneszente Feld wurde mit SNOM (Scanning Near Field Optical Microscopy) im Kollektionsmodus vermessen. Abb. 3a zeigt die dabei gemessene Topographie (der Wellenleiter hebt sich beim Eindiffusionsprozeß von Titan gegenüber der nicht bearbeiteten  $\text{LiNbO}_3$ -Oberfläche um etwa  $20 \text{ nm}$  an); hierbei ist deutlich erkennbar, dass der Wellenleiter etwa  $6 \mu\text{m}$  breit ist.

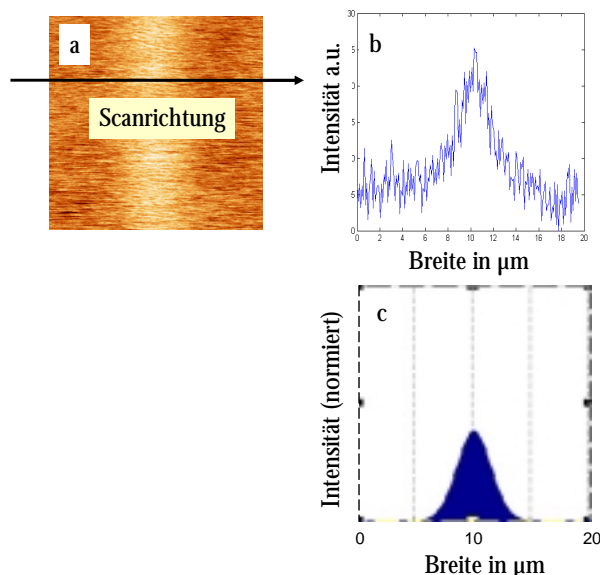


**Abb. 3** a: AFM-Aufnahme der Topologie des Wellenleiters; b: SNOM-Aufnahme des evaneszenten Feldes an der Oberfläche

In Abb. 3b ist die mit SNOM gemessene Intensität des evaneszenten Feldes dargestellt. Sie ist am

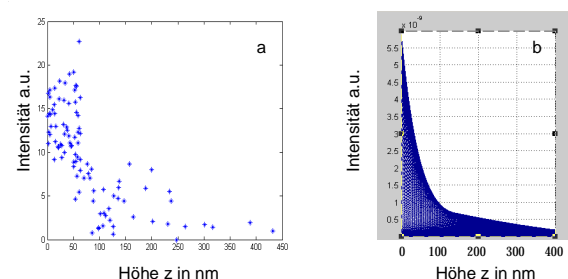
höchsten im Zentrum des Wellenleiters und klingt zu den Seiten hin ab. Dies ist über die gesamte Länge des Wellenleiters beobachtbar.

Die aus dem Scan gewonnenen Informationen über die Intensitätsverteilung des evaneszenten Feldes senkrecht zur Propagationsrichtung des Lichts im Wellenleiter ist in Abb. 4b aufgetragen. Zum Vergleich ist in Abb. 4c die numerische Simulation (der ersten geführten Mode) für den entsprechenden Bereich dargestellt. Hierbei stimmen sowohl die Form als auch die horizontale Verteilung (Breite) innerhalb der Messgenauigkeit gut überein.



**Abb. 4** Scan des evaneszenten Feldes an der Oberfläche; a: Scanrichtung; b: SNOM-Messung; c: Numerische Simulation

Für die Anwendung zur Untersuchung der Zellmembran wird insbesondere die Kenntnis der Höhenabhängigkeit des evaneszenten Feldes über dem Wellenleiter benötigt. In Abb. 5a ist die mit SNOM gemessene Intensität über dem Abstand (Höhe) vom Wellenleiter aufgetragen, in Abb. 5b die entsprechende numerische Simulation.



**Abb. 5** Höhenabhängigkeit des evaneszenten Feldes; a: SNOM-Messung; b: Numerische Simulation

Wie der Abbildung entnommen werden kann, ist das evaneszente Feld bis zu einem Abstand von etwa 50 nm über dem Wellenleiter mit SNOM

detektierbar und seine Abklingcharakteristik deckt sich – trotz starken Rauschens - qualitativ mit der der numerischen Simulation.

#### 4 Diskussion

Die evaneszenten Felder des in den wellenleitenden Strukturen geführten Lichts konnten mit SNOM - Techniken vermessen und charakterisiert werden. Diese Ergebnisse stimmen innerhalb der Messgenauigkeit mit den numerischen Simulationen überein; dies gilt sowohl für die horizontale Abhängigkeit des Feldes an der Oberfläche als auch für die der Höhenabhängigkeit über dem Wellenleiter. Die Felder konnten bis zu einem Abstand von etwa 50 nm nachgewiesen werden, was in der Größenordnung der später zu untersuchenden Strukturen in biologischen Proben liegt.

#### 5 Zusammenfassung und Ausblick

Vorgestellt wurden wellenleitende Strukturen in Lithiumniobat, die zur Untersuchung von Transportprozessen in Zellmembranen eingesetzt werden können. Die evaneszenten Felder des geleiteten Lichtes wurden mit SNOM-Techniken vermessen und charakterisiert, wobei die Messergebnisse mit den numerischen Simulationen übereinstimmten.

Aufgrund dieser Kenntnisse (insbesondere der der Höhenabhängigkeit der Felder über dem Wellenleiter) ist ein Einsatz als Biosensor möglich.

In einem weiteren Schritt kann eine zweidimensionale, räumlich aufgelöste Untersuchung durch zeitlich modulierte Einkopplung in einem Wellenleiter-Array durchgeführt werden.

#### 6 Dank

Bedanken möchten sich die Autoren bei Christian Rüter von der AG Prof. Kip, TU Clausthal für die Zusammenarbeit bei der Herstellung der Wellenleiter und den numerischen Simulationen, bei Andreas Englisch und Stefan Griesing von der AG Prof. Hartmann, Universität des Saarlandes für die Durchführung der SNOM-Messungen und beim Graduiertenkolleg 1114 der DFG: „Optische Messtechniken für die Charakterisierung von Transportprozessen an Grenzflächen“ für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten.

#### Literatur

- [1] Boisdé, Harmer, *Chemical and Biochemical Sensing With Optical Fibers and Waveguides*, Artech House (1996)
- [2] R. E. Kunz: "Miniature integrated optical modules for chemical and biochemical sensing" in *Sensors and Actuators B* **38-39**: 13-28 (1997)