

Arne Eckau: Optische und elektrooptische Eigenschaften von BaTiO₃-Dünnschichtwellenleitern. 2001

Die weite Verbreitung der Optokommunikation motiviert das hohe Interesse an einer Integration photonischer Bauelemente. Voraussetzung für die Integration ist die Entwicklung einer Dünnschichttechnologie für in der Photonik nutzbare Materialien. BaTiO₃ weist eine hohe Transparenz und günstige elektrooptische Koeffizienten auf und ist daher von großem Interesse. Frühere Arbeiten haben gezeigt, daß sich epitaktische, einkristalline BaTiO₃-Schichten mit geringer Oberflächenrauigkeit und vielversprechenden optischen Eigenschaften mittels Laserablation auf MgO-Substraten herstellen lassen. In der Regel sind die so hergestellten Schichten c-achsenorientiert, d.h. die längere c-Achse steht senkrecht zur Schichtoberfläche. Es können aber auch durch Variation der Depositionsparameter a-achsenorientierte Schichten produziert werden. Kernpunkt dieser Arbeit ist die Untersuchung der optischen und elektrooptischen Eigenschaften dieser Schichten. Die Zusammenhänge von Schicht- und Depositionsparametern konnten teilweise aufgeklärt werden. Ein Prozeß zur Herstellung elektrooptischer Phasenmodulatoren wurde entwickelt und elektrooptische Modulation konnte gezeigt werden.

Im einzelnen ergaben genauere Untersuchungen der Gitterparameter eine breite Verteilung der Achsenlängen der Schichten, wobei die Werte mehrheitlich zwischen dem a- und dem c-Achsenwert des Volumenkristalls liegen. Es zeigt sich eine Verkürzung der Gitterachsen bei Deposition mit verminderter Laserenergie oder Anwendung eines in-situ Nachtemperschlittes. Dies läßt sich vermutlich auf eine verringerte Anzahl an Sauerstoffleerstellen in der Schicht zurückführen. Brechungsindexmessungen zeigen analog eine starke Abhängigkeit von Laserleistung und Nachtemperschlitt. Die ermittelten Werte liegen dabei alle unterhalb des ordentlichen Brechungsindex des Volumenkristalls. Die Variation der Werte senkrecht zur Schichtebene ist jeweils größer und läßt sich vermutlich auf die Einschränkung der Freiheit des Gitterparameters in Schichtebene durch das Substrat zurückführen. Die Brechungsindexdispersion einer Schicht läßt sich analog zum Volumenkristall durch Ein-Oszillator Sellmeiergleichungen beschreiben. Dämpfungsmessungen der optischen Propagation in den Schichten ergaben Werte bis < 2 dB/cm bei 633 nm. Für die Herstellung elektrooptischer Phasenmodulatoren wurden einmodige Rippenwellenleiter konzipiert und ein entsprechender Herstellungsprozeß wurde entwickelt. Die Rippenwellenleiter mit einer Breite der Rippen von 2 µm und einer Höhe von 50 - 100 nm auf Basis einer 1 µm dicken Schicht wurden mittels Photolithographie und Ionenstrahlätzen hergestellt. Zwischen gekreuzten Polarisatoren konnten elektrooptische Modulationskurven aufgenommen werden. Diese lassen auf eine teilweise Polung der Schicht durch Erzeugung von a-Domänen in der c-achsenorientierten Schicht schließen. Eine Berechnung des effektiven r_{51} -Koeffizienten ergab Werte von 60 - 20 pm/V mit fallender Tendenz für höhere Felder. Dies läßt sich durch die zunehmende Erzeugung von a-Domänen durch das Feld erklären.

The growth in the field of optical communication drives the high interest in integration of photonic devices. The development of a thin film technology of photonic materials is a prerequisite for this integration. BaTiO₃ shows high transparency and interesting electrooptic properties. Therefore, it is a very interesting material for optical applications. Preceding research demonstrated the possibility to produce epitaxial, single crystalline BaTiO₃ thin films on MgO by pulsed laser deposition. The films showed smooth surfaces and promising optical properties. Usually, the films are c-axis oriented, the orientation of the longer c-axis is perpendicular to the surface. Under modified deposition conditions it is also possible to grow a-axis oriented films. The main objective of this work is the analysis of the optical and electrooptical properties of these films. The interdependencies of film and deposition parameters were studied. A manufacturing process for electrooptic phase modulators was developed and electrooptic modulation could be demonstrated.

In particular, a closer investigation of the lattice parameters yielded a broad distribution. The values were mainly in between the values for the bulk crystals a-axis and c-axis. Deposition with reduced laser power or the application of an in-situ anneal step resulted in a reduction of the lattice parameters. This may be attributed to a reduced number of oxygen vacancies in the film. Refractive index measurements show a corresponding dependency on laser power or an anneal step. All measured refractive index values are lower than the bulk ordinary index. The variations of the in-plane values are smaller in all cases, probably due to the clamping of the in-plane axis by the substrate. The index dispersion of a film can be described by single oscillator Sellmeier equations, like the bulk crystal behaviour. Measurements of the optical attenuation of thin film planar waveguides gave very good values down to < 2 dB/cm for 633 nm. A fabrication process for phase modulators was successfully developed. Single mode ridge waveguides (width: 2 μm , ridge height: 50-100 nm, film thickness: 1 μm) were fabricated by ion beam etching using an etch mask structured by photolithography. With the phase modulators among crossed polarizers, modulation signals could be measured. The corresponding plots leads to the conclusion of a partial polarization of the films by means of creation of a-axis domains in the c-axis oriented film. The evaluation of the modulation signals gave values for an effective r_{51} -coefficient of 60-20 pm/V. The decreasing values for increasing electric field may be attributed to the increasing amount of a-domains in the waveguide generated by the field.