



Thomas Weber¹



Hans-Jörg Fuchs¹



Ernst-Bernhard Kley¹



Andreas Tünnermann^{1,2}

¹ Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena
² Fraunhofer IOF

Die Beeinflussung des Polarisationszustands von Licht bis in den UV-Bereich ist für verschiedenste Anwendungen von zunehmendem Interesse, beispielsweise in der Spektroskopie oder der höchstauflösenden Mikroskopie. Kommerziell erhältliche Polarisatoren, wie Glan-Thompson-Prismen oder auch auf Nanopartikeln basierende Polarisatoren sind derzeit noch auf Wellenlängen oberhalb von 350 nm limitiert und auch kaum integrierbar. Einen Ausweg bieten Polarisatoren auf der Basis von Metallstreifengittern, mit denen eine breitbandige Polarisierung von Licht bis hin zu UV-Wellenlängen möglich ist.

Die Polarisierung von Licht mit Metallstreifengittern basiert auf deren optisch anisotropem Verhalten. Schwingt das elektrische Feld der einfallenden Welle parallel zu den Gitterstäben (TE-Polarisation) wird bei entsprechender Gestaltung des Gitters der größte Teil der eingestrahlten Energie reflektiert bzw. absorbiert. Im Gegensatz dazu kann Licht, dessen elektrisches Feld senkrecht zu den Gitterstegen schwingt (TM-Polarisation) das Gitter ungehinderter passieren, weshalb mehr Energie transmittiert wird. Ein solches Gitter filtert somit den TM-polarisierten Anteil einer einfallenden Welle heraus. Die wesentlichen Kenngrößen eines solchen Polarisators sind die Transmission des TM-polarisierten Anteils und der Polarisationskontrast des transmittierten Lichts, welcher das Verhältnis zwischen dem TM- und dem störenden TE-polarisierten Anteil angibt. Um eine möglichst hohe Effizienz des Metallstreifenpolarisators zu erreichen, muss dessen Gitterperiode so klein sein, dass bei Lichteinfall aus beliebiger Richtung nur die 0. Beugungsordnung

ausbreitungsfähig ist (ein sogenanntes Zero-order-Gitter). Zur Realisierung eines Polarisators für eine Wellenlänge von beispielsweise 300 nm muss dessen Gitterperiode folglich im Bereich um 100 nm oder darunter liegen. Um möglichst gute optische Eigenschaften im UV-Bereich zu erzielen, kommt als Gittermaterial lediglich Aluminium in Frage /1/.

Abbildung 1 zeigt eine rigorose Simulation des Polarisationskontrasts am Beispiel eines Aluminium-Gitters in Abhängigkeit von dessen Steghöhe für verschiedene Wellenlängen des eingestrahlten Lichts. Diese numerische Berechnung zeigt einen deutlichen Anstieg des Polarisationskontrasts mit zunehmender Höhe der Aluminiumstege. Weiterhin ist sichtbar, dass Steghöhen von mindestens 100 nm notwendig sind, wenn ein hoher Polarisationskontrast bis in den UV-Bereich gewährleistet werden soll. Zusätzlich ist zu beachten, dass zu breite Gitterstege zu einer unerwünschten Verminderung der Transmission des TM-polarisierten Lichts führen. Theoretische Simulationen zeigen, dass beim dargestellten Beispiel Stegbreiten im Bereich zwischen 30 nm und 40 nm optimal sind /2/.



The manipulation of the polarization of light until the UV region is of interest in various applications, for example spectroscopy or the high-resolution microscopy. Commercially available polarizers like Glan-Thompson-prisms or nano-particle based polarizers are currently limited to wavelengths above 350 nm and otherwise hardly integrable. Wire-grid based polarizers with the potential to generate a broadband polarization of light up to the UV region offer a solution.

The polarization of light by a metal stripe grating is based on its optical anisotropic behavior. In the case that the vector of the electrical field is perpendicular to the wire grid (TE polarization), the largest part of the incoming energy will be reflected or absorbed, if the properties of the wire grid are chosen adequately. In contrast to this, light would be transmitted if the incident wave is polarized perpendicular to the wire grid (TM polarization). Such a grating is able to filter the TM polarized light. The characteristic parameters of the wire grid polarizer are the transmission of the TM polarization and the extinction ratio, representing the ratio of the transmission of the TM polarized and the parasitic TE polarized light. To maximize the efficiency of the metal stripe polarizer it is necessary to select a grating period so small that only the first diffraction order propagates (a so called zero-order-grating). For a polarizer working at a wavelength of 300 nm, for example, a grating period of 100 nm or less would be necessary. Only Aluminum as grating material enables a good optical performance in the UV region /1/.

Figure 1 shows the result of a rigorous simulation of the extinction ratio versus the grating height and the wavelength of the incoming light at the example of a wire grid polarizer with the grating period 100 nm. This simulation shows a considerable rising of the extinction ratio with an increasing of the grating height. Furthermore it is apparent that grating heights of minimum 100 nm are necessary to realize a high extinction ratio until the UV region. It is also important to notice that too wide metal wires results in an unintentional decreased transmission of the TM light. Theoretical simulations of the given example show that the best results are accomplished with metal wire widths between 30 and 40 nm /2/.

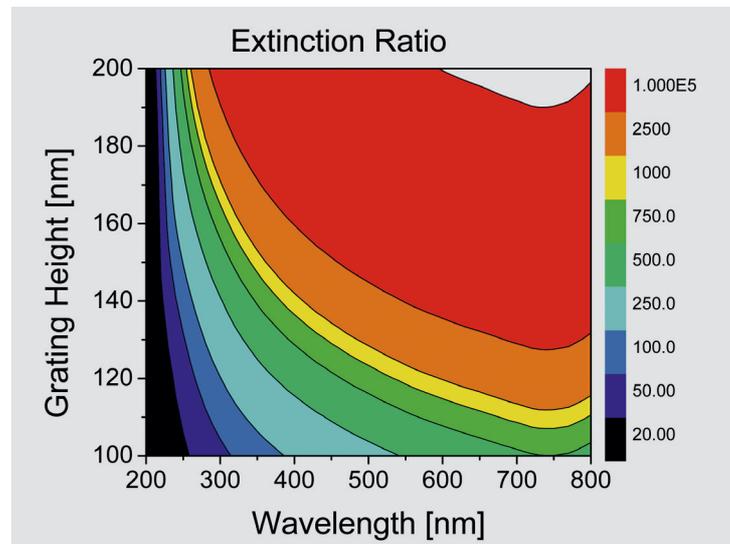


Abb. 1: Simulation des Polarisationskontrastes in Abhängigkeit von Steghöhe und Wellenlänge für ein Aluminiumgitter mit 100 nm Periode und 30 nm Stegbreite.

Fig. 1: Simulation of the extinction ratio versus the grating height and the wavelength for an aluminum grating with the period 100 nm and a ridge width of 30 nm.

Die Realisierung von hochfrequenten Metallstreifengittern mit einem hohen Aspektverhältnis (dem Verhältnis von Grabentiefe zu Stegbreite) stellt selbst modernste Herstellungstechnologien vor eine große Herausforderung. Obwohl Ansätze zu deren Realisierung existieren /3/, sind sie jedoch für die kommerzielle Anwendung nicht praktikabel. Am Institut für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena wurde ein neuartiger Ansatz auf der Basis der Elektronenstrahl-lithographie entwickelt, der die reproduzierbare Herstellung von effizienten Metallstreifenpolarisatoren erlaubt.

Zur Erzeugung eines Gitters mit der Periode 100 nm wurde zunächst mittels Elektronenstrahlolithographie und konventionellen Strukturierungsverfahren ein Gitter mit 200 nm Periode in einem dielektrischen Trägermaterial, hier einem Polymer, erzeugt (Abb. 2). Durch Verwendung einer entsprechenden gitterförmigen Sonderblende bei der elektronenstrahlolithographischen

Belichtung konnte die Belichtungszeit auf etwa 5 min/cm² reduziert werden, was um Größenordnungen unter der Belichtungszeit von konventionellen, punktstrahlbasierten Anlagen liegt. Durch Beschichtung der Seitenwände des Trägergitters mit Aluminium entstand ein Metallstreifengitter mit der halben Periode, dessen Stegbreiten durch die Beschichtungszeit steuerbar sind.

Nach dem Entfernen des Trägergitters durch einen Trockenätzprozess resultiert eine Aluminiumstruktur, die eine Periode von 100 nm und das geforderte hohe Aspektverhältnis aufweist (Abb. 3).

Breitbandige Messungen in einem Spektralbereich von 200 bis 800 nm mit dem Spektrometer bestätigen die optische Leistungsfähigkeit der hergestellten Elemente. Bei einer Wellenlänge von 300 nm konnten bei TM-polarisierter Beleuchtung eine Transmission von etwa 70 % und ein Kontrast

von 20 : 1 gemessen werden (Abb. 4). Bei Erhöhung der Wellenlänge verbessern sich die optischen Eigenschaften sogar noch deutlich. Der aufgezeigte Ansatz für einen Drahtgitterpolarisator gibt die Möglichkeit zukünftig wesentlich größere Polarisationskontraste zu realisieren.

Literatur:

- /1/ Yang, Z. Y. et al.: Broadband nanowire-grid polarizers in ultraviolet-visible-near-infrared regions, *Optics Express*, 15, 9510–9519 (2007).
- /2/ Weber, T. et al.: Wire grid polarizer for the UV spectral region, in Vorbereitung.
- /3/ Ahn, S. et al.: Fabrication of a 50 nm half-pitch wire grid polarizer using nanoimprint lithography, *Nanotechnology* 16, 1874–1877 (2005).

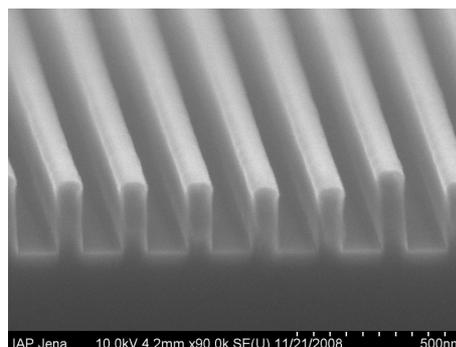


Abb. 2:
Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme eines Polymer-Gitters mit 200 nm Periode.

Fig. 2:
SEM picture of a polymer grating with 200 nm period.

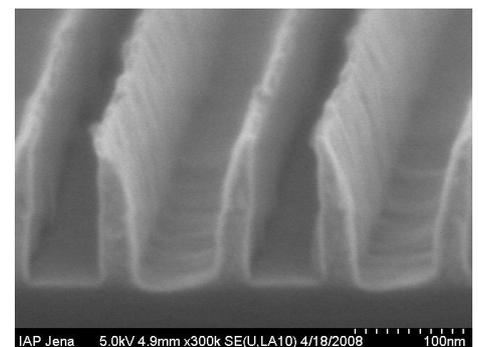


Abb. 3:
REM-Aufnahme eines Aluminiumdrahtgitters mit 100 nm Periode.

Fig. 3:
SEM picture of an aluminum wire-grid with 100 nm period.



The manufacturing of high frequency metal stripe gratings with a high aspect ratio (the ratio of the metal wire height and width) is a big challenge even for modern manufacturing technologies. Approaches for their realisation are known [3], but none are practicable for commercial applications. A new approach based on electron beam lithography was developed at the Institute of Applied Physics at the Friedrich-Schiller-University Jena which allows a reproducible production of efficient metal stripe polarizers.

The first step in the production of the grating with the period 100 nm is the generation of a 200 nm period grating by electron beam lithography and common microstructure technologies into a dielectric layer, here a polymer (Fig. 2). Via the usage of a lattice aperture during the electron beam illumination it is possible to reduce the writing time to 5 min/cm² which is orders of magnitude lower than conventional single spot e-beam writing. The metal stripe grating with the half period was realized by coating the sidewalls of the dielectric grating with aluminum where the metal thickness is tunable by the coating time.

After the elimination of the dielectric grating by a dry etching process, the aluminum structure with a period of 100 nm and the required high aspect ratio is realized (Fig. 3).

Broadband measurements in a spectral region of 200 nm to 800 nm with the spectrometer verify the optical performance of the fabricated elements. At a wavelength of 300 nm, a TM transmission of 70 % and an extinction ratio of almost 20 : 1 (Fig. 4) could be measured. The optical performance increases clearly with an increasing of the wavelength of the incoming light. This approach of a wire grid polarizer will allow for much higher extinction ratios in the future.

References:

- /1/ Yang, Z. Y. et al.:
Broadband nanowire-grid polarizers in ultra-violet-visible-near-infrared regions, *Optics Express*, 15, 9510–9519 (2007).
- /2/ Weber, T. et al.:
Wire grid polarizer for the UV spectral region, in preparation.
- /3/ Ahn, S. et al.:
Fabrication of a 50 nm half-pitch wire grid polarizer using nanoimprint lithography, *Nanotechnology* 16, 1874–1877 (2005).

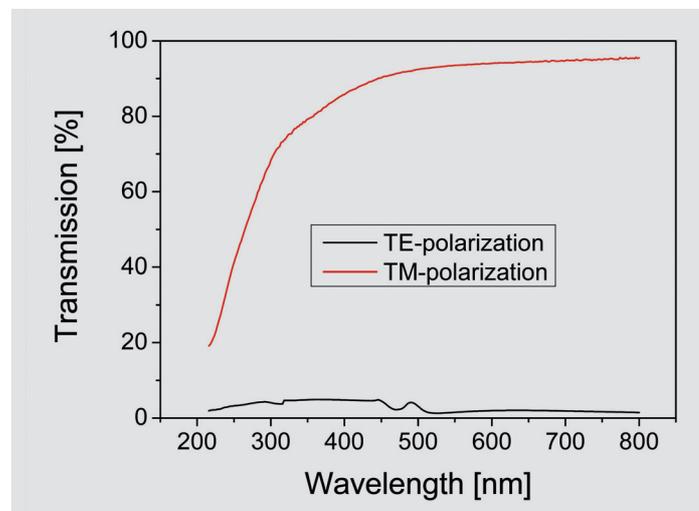


Abb. 4: Messkurve der Transmission für die TE- und TM-Polarisation in Abhängigkeit der Wellenlänge.

Fig. 4: Measurement of the TE and TM transmission versus the wavelength.