

# Elektronenstrahlolithographie von niedrigdimensionalen GaAs/AlGaAs Heterostrukturen

M. Hauser, G. Straßer

Institut für Festkörperelektronik, Technische Universität Wien,  
1040 Wien

Im Rahmen des Projektes „Ausbau und Betrieb der Elektronenstrahlolithographie“ werden hauptsächlich Arbeiten an Quantum Wires und oberflächenemittierenden Laserdioden gefördert. Mit einem modifizierten Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop werden GaAs Oberflächen nanostrukturiert. In naßchemisch geätzten Quanten Wires treten durch Magnetophononen bei höheren Temperaturen interessante Effekte auf. Bei oberflächenemittierenden Laserdioden kann durch die Strukturierung eine gerichtete Abstrahlung senkrecht zur Oberfläche erreicht werden.

## 1. Einleitung

Zur Elektronenstrahlolithographie wird ein digitales Rasterelektronenmikroskop JEOL 6400F mit Feldemissionskathode verwendet, das durch die externe Steuerung der Strahlablenkung als hochauflösendes Schreibgerät verwendet wird. Diese Anordnung erlaubt bei einem Punktabstand von 5 nm eine Schreibfläche von ca.  $80 \times 80 \mu\text{m}^2$ . Das Strahlensystem enthält ein schnelles elektrostatisches Beambanking. Das Musterdesign erfolgt in Auto-CAD, die Strukturelemente können mit variabler Dosis bestrahlt werden. Der strukturierte Resist dient anschließend als Ätzreserve. PMMA eignet sich sowohl für reaktives Plasmaätzen (RIE) als auch für naßchemisches Ätzen, die Widerstandsfähigkeit gegenüber RIE ist zwar relativ gering, reicht aber für viele Zwecke aus. Als Schutzmaske beim naßchemischen Ätzen ist dieser Resist sehr gut geeignet, da er inert gegenüber den meisten Agenzien ist, seine schlechte Benetzbarkeit läßt sich meist durch Zusätze zum Ätzmittel beseitigen. Als Aufdampfmaske verwendet, konnten nach Liftoff (Au auf GaAs) Linienbreiten von 20 nm realisiert werden.

### 1.1 Magnetophononen in Quantum Wires

Auf GaAs-HEMTs wurden die Transporteigenschaften in naßchemisch geätzten Quantum Wires verschiedener Länge untersucht. Einflüsse des Randes, Potentialfluktuationen und Störstellen im Kanal führen zu einem gegenüber dem 2DES veränderten Magnetowiderstand und zu Nichtlinearitäten in der Strom-Spannungs-Kennlinie. Daraus folgt eine stark längenabhängige Reduzierung der Beweglichkeit im 1D-Kanal, wobei kurze Kanäle die höchste Beweglichkeit besitzen [1]. Interessante 1D-Effekte treten auch bei höheren Temperaturen auf. Allgemein gilt, daß der Probenwiderstand mit steigender Temperatur stark abnimmt, was nicht alleine durch die steigende Elektronendichte, sondern durch die Abschwächung der Coulombstreuung an geladenen Störstellen in der Wand der Wires erklärt werden kann. Weiters verschwinden mit steigender Temperatur die SdH Oszillationen, die bei tiefen Temperaturen auftreten, dafür zeigen sich ab 100 K Strukturen im Widerstand, die bei 136 K am stärksten ausgeprägt sind und über 180 K wieder verschwinden [2]. Diese Widerstandsmaxima können durch Streuung an Magnetophononen erklärt werden. Mit steigender Temperatur nimmt die Phononenzahl und damit die Streurrate zu, bis die Strukturen durch die hohe Streurrate

verbreitern und oberhalb von 180 K wieder verschwinden. Aus der Lage der Maxima der Magnetophononenstreuung lassen sich die Subbandabstände auch für Proben berechnen, die bei tiefen Temperaturen im extremen Quantenlimit sind. Bei höheren Temperaturen ergeben sich höhere Werte für die Subbandenergien als bei 4.2 K. Dieser Effekt ist noch völlig unverstanden, daher sollen weitere Untersuchungen an Proben mit wenigen oder einzelnen Quantum Wires angestellt werden.

## 1.2 Oberflächenemittierende Halbleiterlaserdioden

Oberflächenemittierende Halbleiterlaserdioden gewinnen immer mehr an Bedeutung. Durch die Abstrahlung senkrecht zur Oberfläche ist es möglich geworden, diese Laserdioden mit anderen Bauteilen monolithisch auf einem Chip zu integrieren. Die große strahlende Fläche bewirkt eine geringe Strahldivergenz und eine hohe Leistungsdichte. Diese günstigen Eigenschaften überwiegen immer mehr die noch ziemlich aufwendige Technologie, die zur Herstellung oberflächenemittierender Halbleiterlaserdioden wie DBR- (distributed Bragg reflector), DFB- (distributed feed back) und VCSEL- (vertical cavity surface emitting laser) Dioden notwendig ist. Diese oberflächenemittierenden Laserdioden basieren auf der Kopplung des Laserlichtes, das sich in der aktiven Zone ausbreitet, an die Oberflächenmode, die sich im Wellenleiter ausbreiten kann. Die Lasermode koppelt über drei Gittervektoren an die Dispersionsrelation der Oberflächenmode. Die angeregte Oberflächenmode zerfällt schließlich über einen, zwei oder drei Gittervektoren und emittiert das Licht über die Oberfläche.

Aus AlGaAs/GaAs-Doppelhetero (DH) Laserdioden wurden Streifenlaser prozessiert, bei denen im Gegensatz zu herkömmlichen Dioden im Metallstreifen, der als ohmscher Topkontakt dient, eine spezielle Oberflächenstrukturierung vorgenommen wird. In die AlGaAs-Cladding-Schicht wird ein Gitter (Periode 1.3  $\mu\text{m}$ ) mittels optischer Lithographie und naßchemischen Ätzverfahren übertragen. Über das Gitter wird ein Metallfilm (250 Å) gedampft. Diese Schicht dient einerseits als Top-Kontakt der Diode und andererseits zur Wellenführung Oberflächenmoden. Über das Metall wurde schließlich noch Polyimid als Dielektrikum aufgebracht. Dieses bildet den Wellenleiter für die Oberflächenmode. Die Effizienz der Modenkopplung hängt stark von den Gitterparametern ab. Bisher wurden Gitter dritter Ordnung verwendet (1300 nm Periode) [3], [4]. Um den Kopplungsprozeß zu optimieren, werden Gitter erster Ordnung (420 nm Periode) verwendet. Form, Tastverhältnis und Regelmäßigkeit des Gitters stellen die wesentlichen Kriterien für eine gute Modenkopplung dar. Dementsprechend muß der Präparation der Gitter höchste Aufmerksamkeit geschenkt werden, weshalb neben den bisher verwendeten Technologien (optische Lithographie und naßchemisches Ätzen) die Gitter mittels Elektronenstrahlithographie und Ionenätzen hergestellt werden.

## Literaturverzeichnis

- [1] Ch. Wirner, Dissertation (1993), Walter Schottky Institut München
- [2] M. Hauser, E. Gornik, C. Wirner, M. Bauer, G. Böhm and G. Weimann: „Investigation of the mobility and the drift velocity in a one-dimensional quantum wire“, *Semicond. Sci. Technol.*, Vol 9, 1993, p 951
- [3] A. Köck, A. Seeberg, M. Rosenberger, C. Gmachl, E. Gornik; C. Thanner, L. Korte: „Novel surface emitting GaAs/AlGaAs laser diodes based on surface mode emission“, *Appl. Phys. Lett.*, Vol 63, 1993, p 1164
- [4] A. Köck, C. Gmachl, E. Gornik; M. Rosenberger; C. Thanner, L. Korte: „A novel surface emitting GaAs/AlGaAs laser diode beam steering device based on surface mode emission“, *Appl. Phys. Lett.*, Vol 64, 1994, p 836.