Physik Oscar 2001

Quanteneffekte in Nanostrukturen

Thomas Berer

04.04.2002

Nanostrukturen

nano

griech.: Zwerg

Prefix: 10^{-9}

1nm = 1 Milliardstel Meter

Physik Oscar 2001

Nanostrukturen

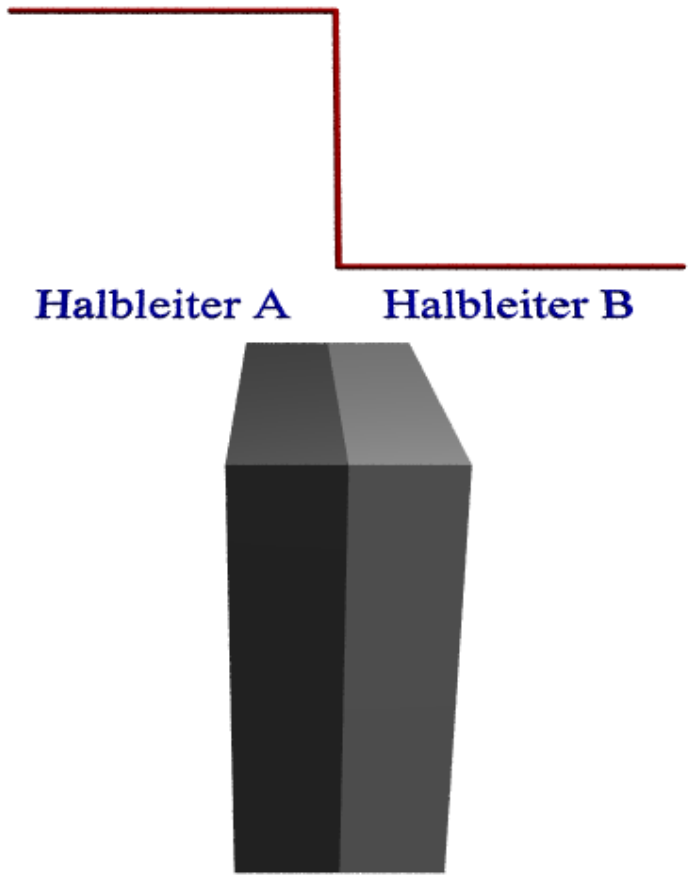
- Strukturen zwischen 1nm und einigen 100 nm

- Viele verschiedene Arten von Nanostrukturen
  - Mechanik
  - Biologie
  - Chemie
  - Elektronik
    - Quanten-Drähte
    - Aharonov-Bohm Ringe

Physik Oscar 2001

2-dimensionales Elektronengas

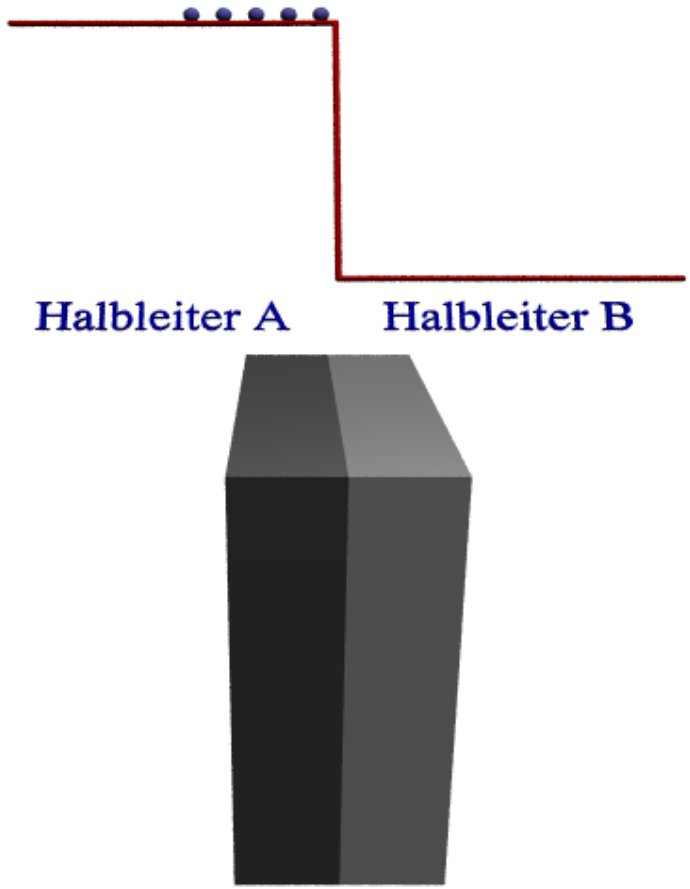
Kombination zweier verschiedener Halbleitermaterialien



Physik Oscar 2001

2-dimensionales Elektronengas

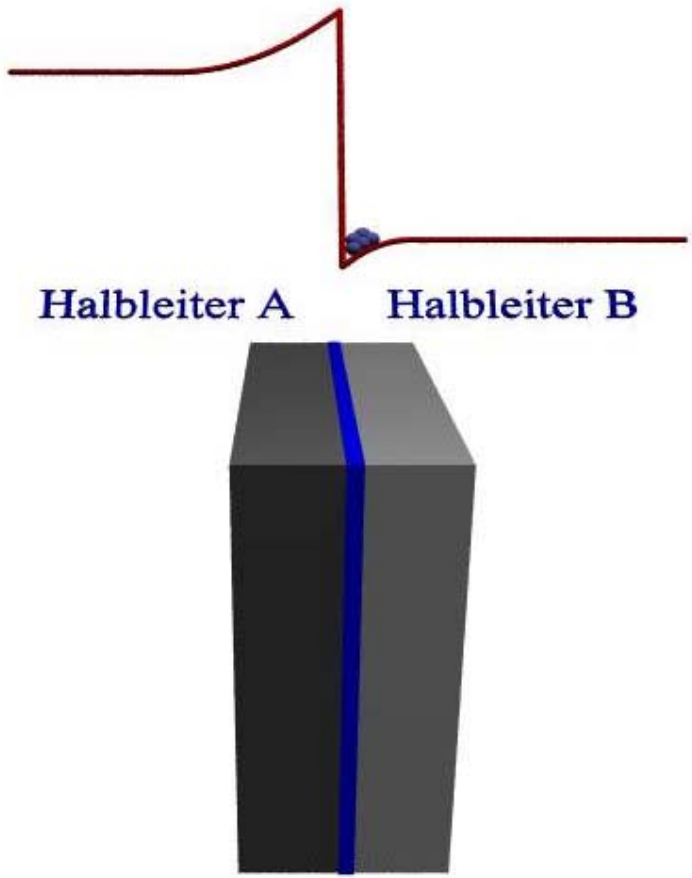
Elektronen haben in den beiden Materialien verschiedene Energien



Physik Oscar 2001

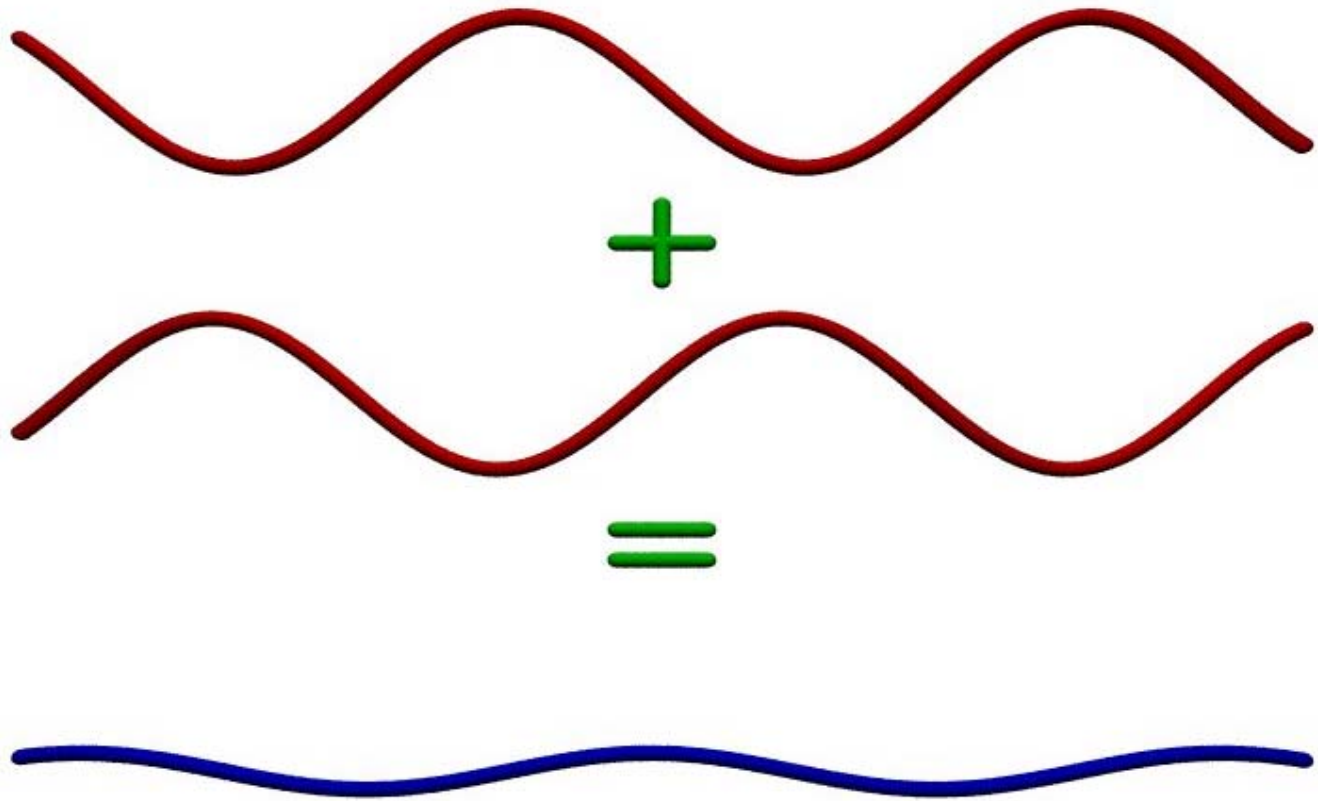
2-dimensionales Elektronengas

An der Grenzschicht bildet sich
eine Ebene beweglicher Elektronen



Physik Oscar 2001

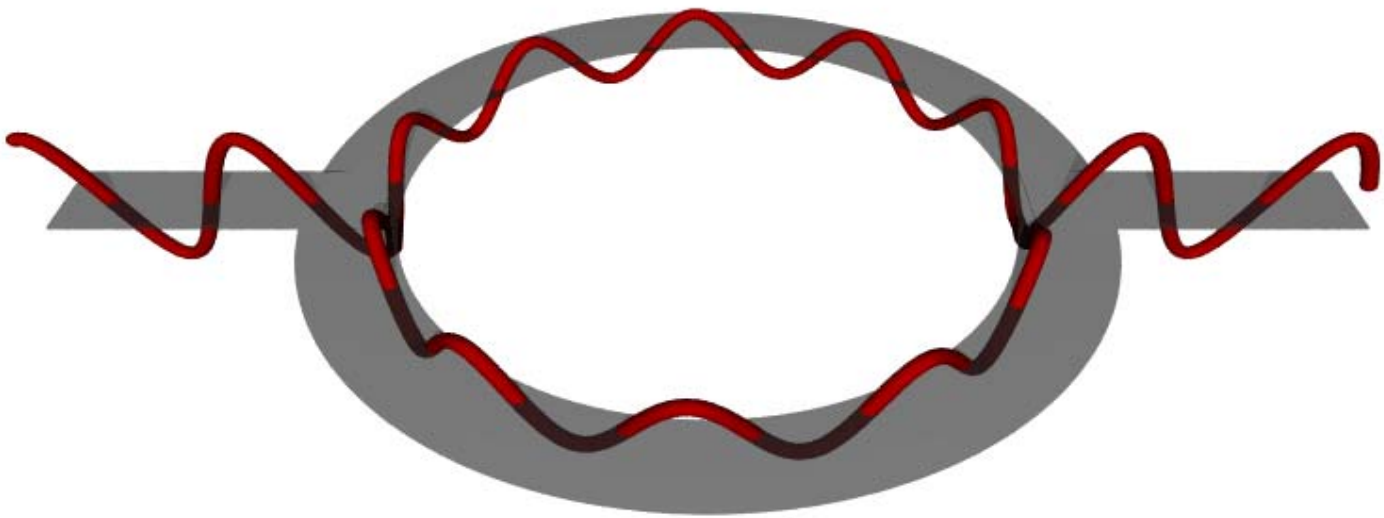
Aharonov-Bohm-Effekt



Physik Oscar 2001

Aharonov-Bohm-Effekt

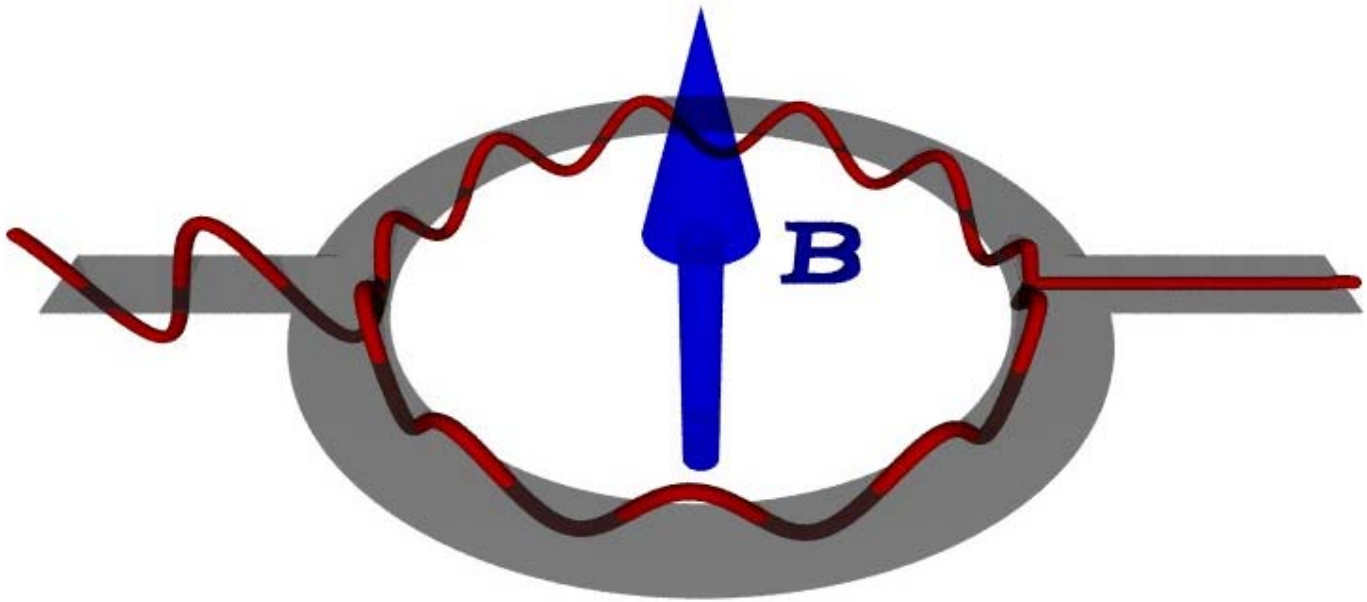
Elektronenwelle teilt sich und
interferiert mit sich selbst



Physik Oscar 2001

Aharonov-Bohm-Effekt

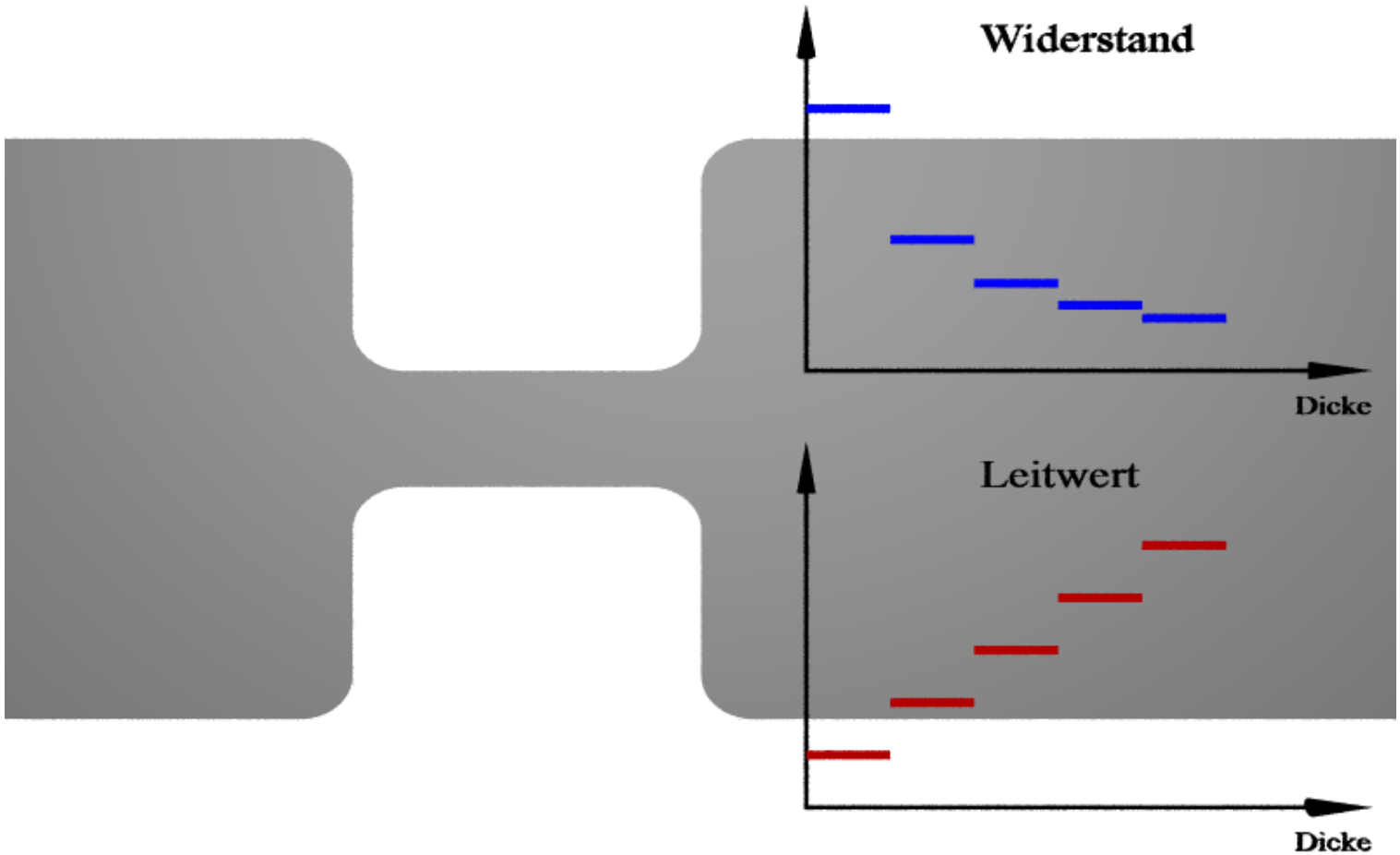
Ein magnetisches Feld
verschiebt die Phasen



Physik Oscar 2001

Quanten-Draht

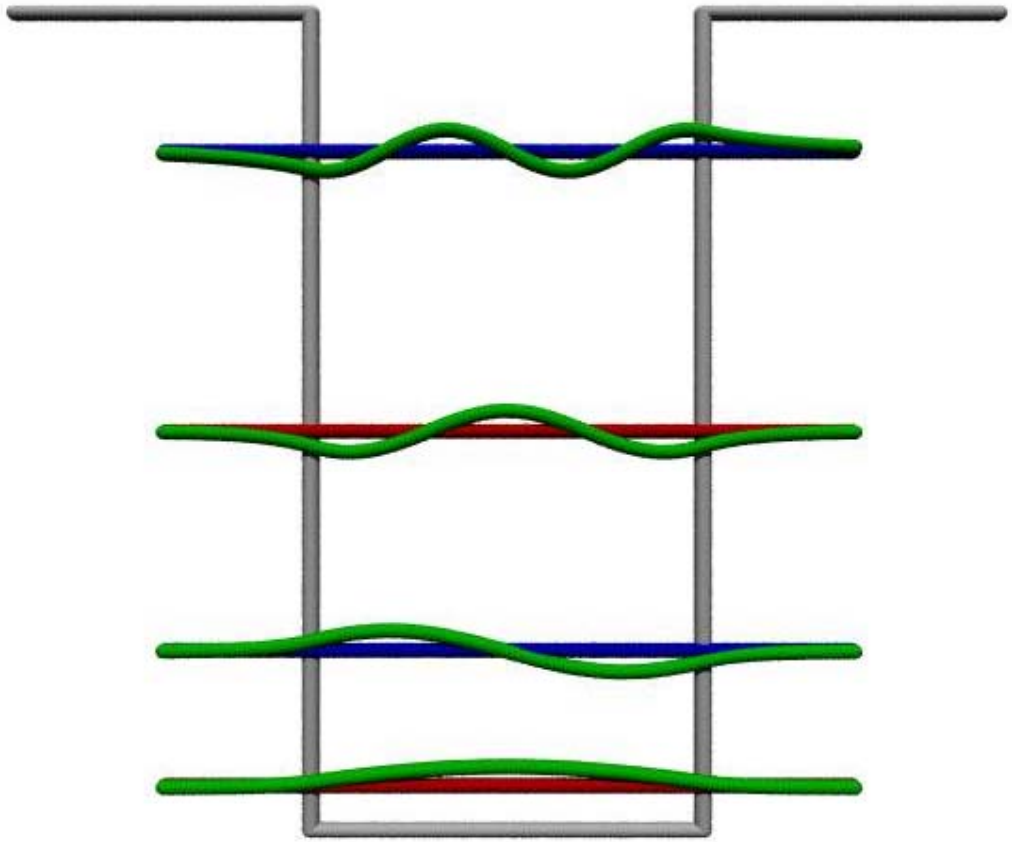
Widerstand verändert sich mit der Dicke <u>sprungartig</u>



Physik Oscar 2001

Quanten-Draht

Elektronen können nur
bestimmte Energien annehmen



Physik Oscar 2001

Größenordnung

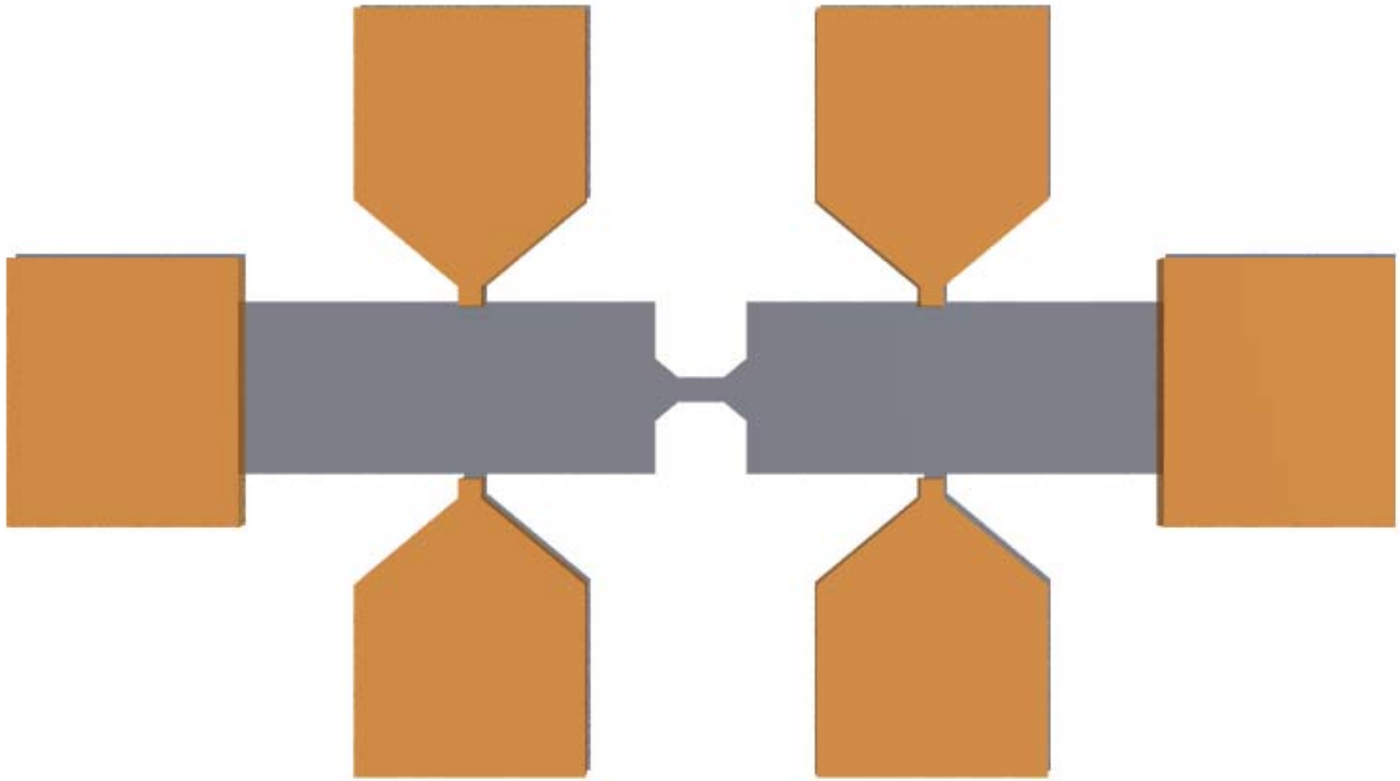
- Atome: 0,1nm
- Moleküle: 1nm
- Viren: 40 – 500nm
- Menschliches Haar: 70µm = 70.000nm
- Leiterdicke meiner Strukturen: 100 – 300nm

Physik Oscar 2001

Für was eigentlich?

- Versuch die Natur zu verstehen
- Miniaturisierung in Halbleiterbauelementen

Was will man?



Physik Oscar 2001

Der Reinraum

Ein „staubfreier“ Raum:
100 Teilchen pro Kubikfuß (28 Liter)

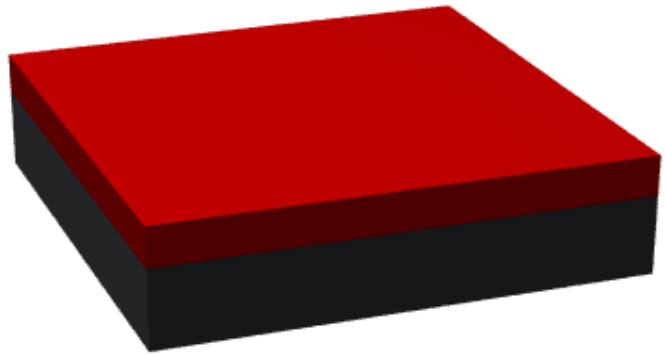
Physik Oscar 2001

Optische Lithographie

Physik Oscar 2001

Optische Lithographie

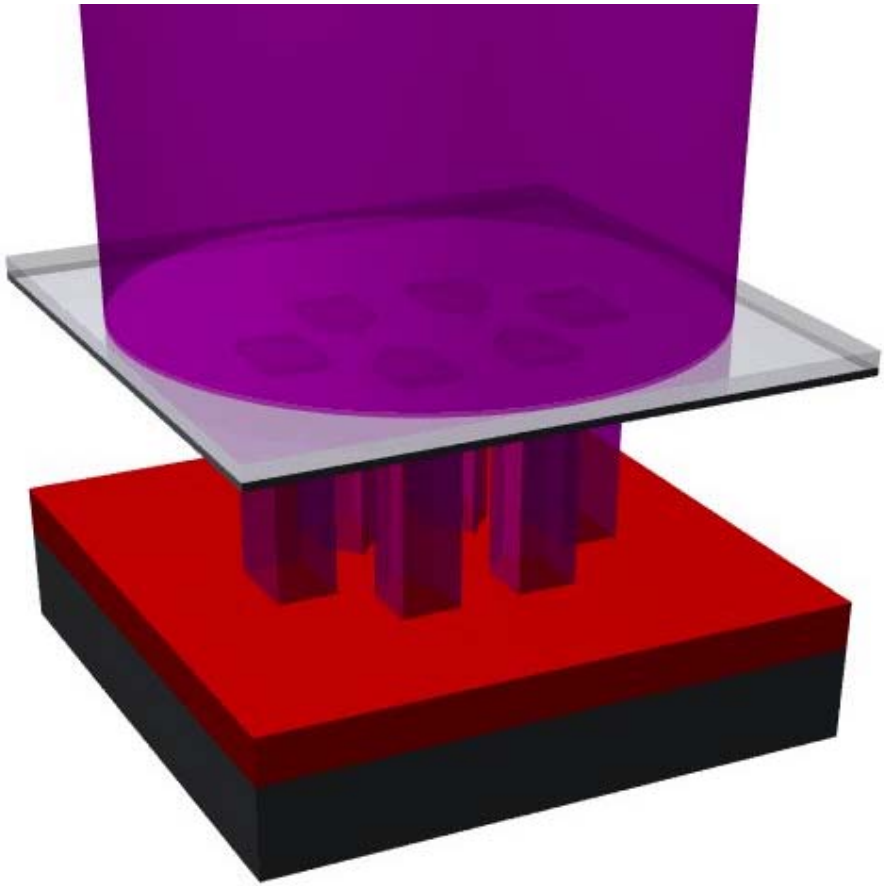
Probe mit Photo-Lack
beschichtet



Physik Oscar 2001

Optische Lithographie

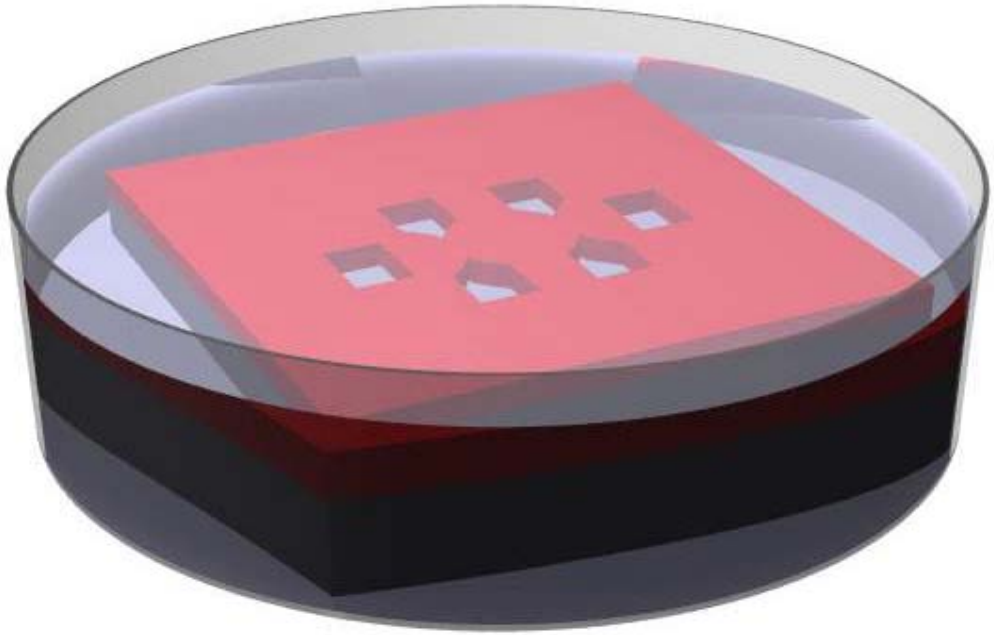
Ultraviolettes Licht
verändert Chemie des Lacks



Physik Oscar 2001

Optische Lithographie

Entwickler entfernt die
belichteten Bereiche

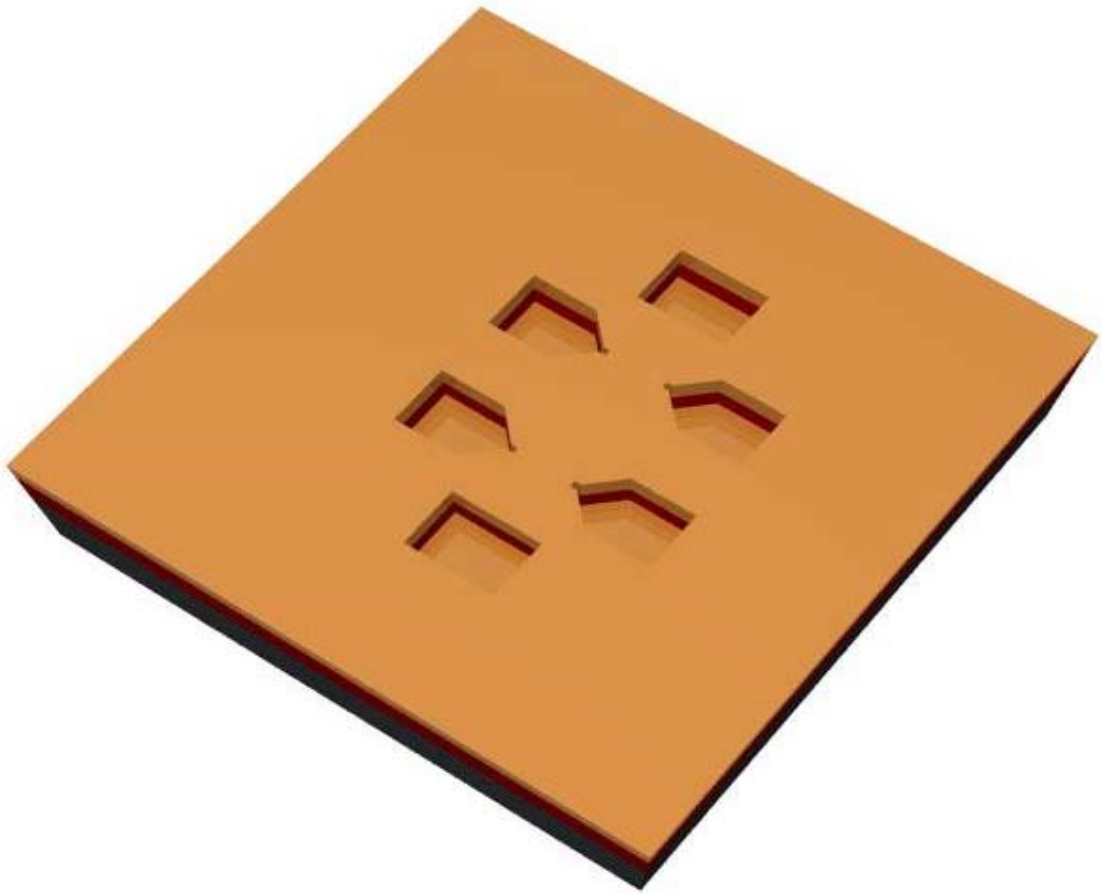


Physik Oscar 2001

Bedampfen mit Metall

Physik Oscar 2001

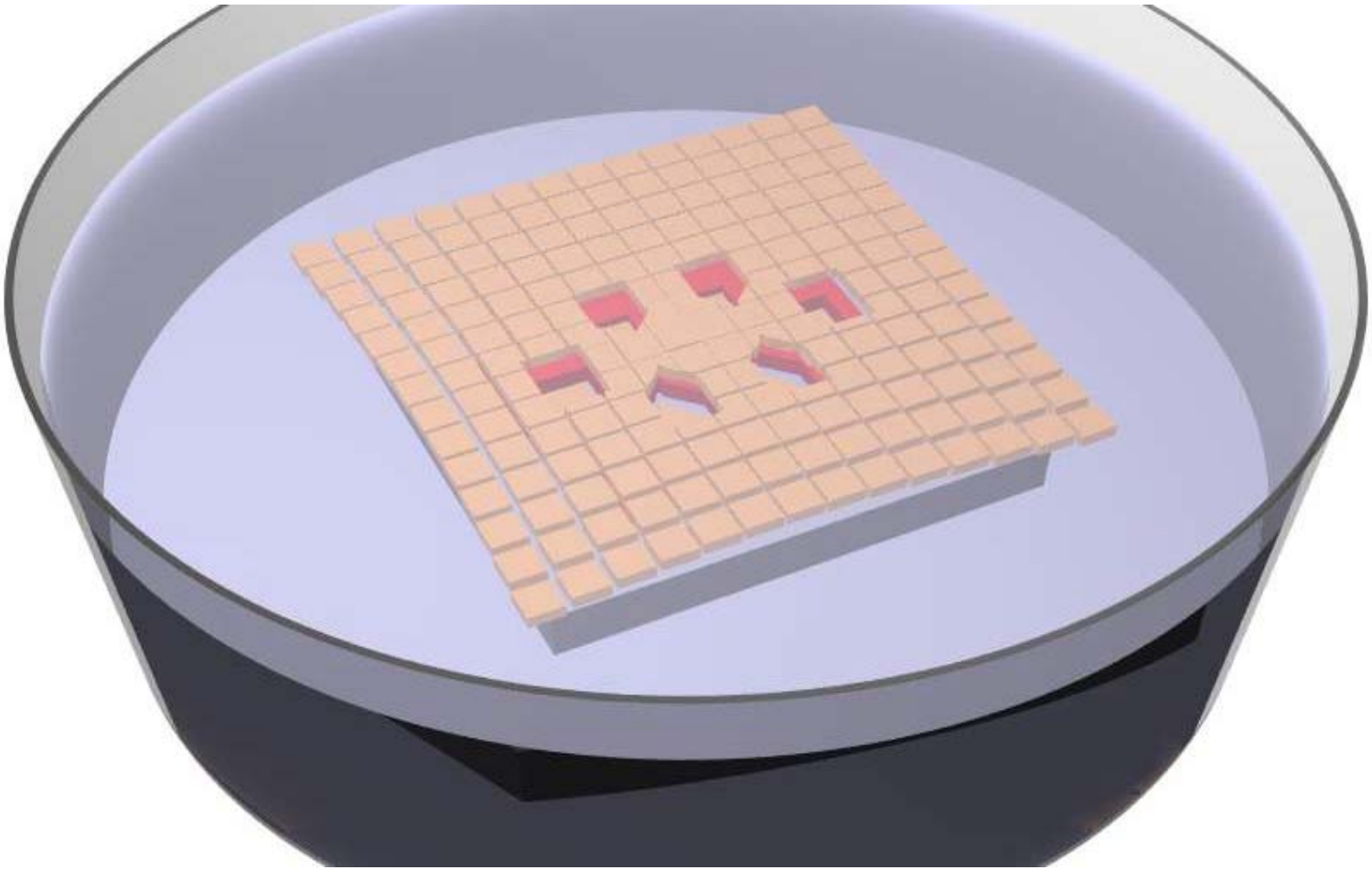
Bedampfen mit Metall



Physik Oscar 2001

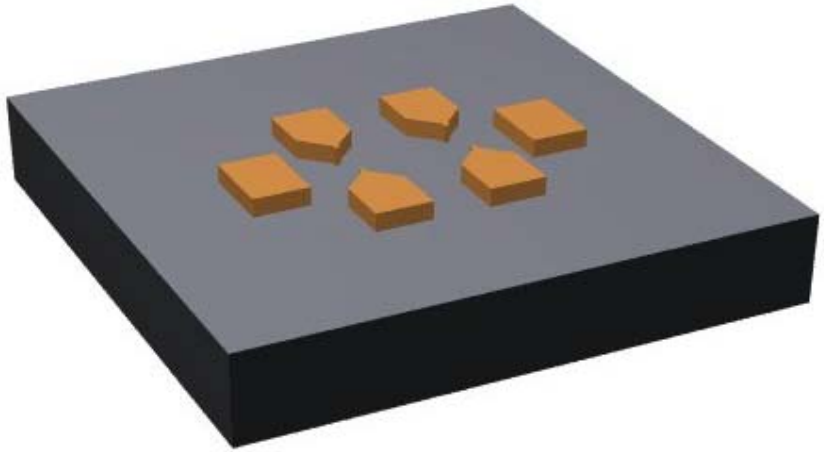
Der Lift-Off

Entfernen des überflüssigen Metalls



Physik Oscar 2001

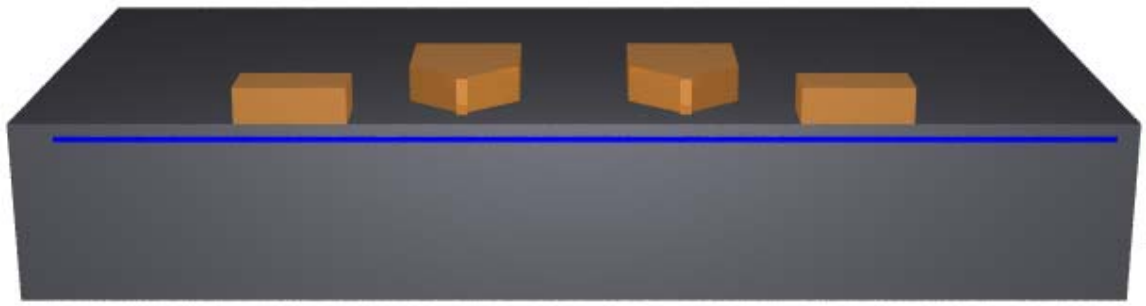
Eindiffundieren - Anneal



Physik Oscar 2001

Eindiffundieren - Anneal

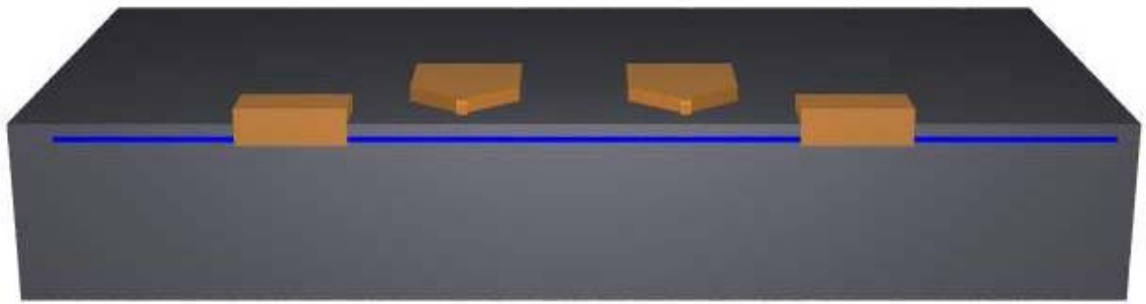
Verbindung zum 2-dimensionales Elektronengas herstellen



Physik Oscar 2001

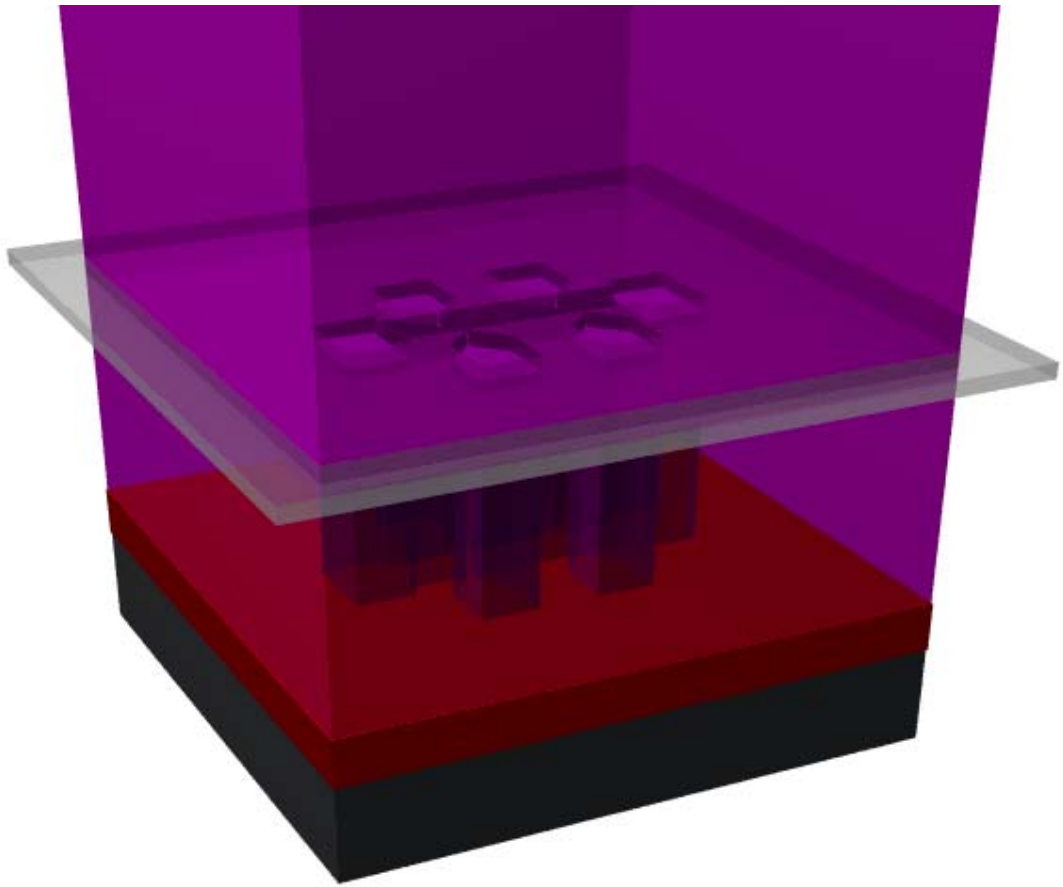
Eindiffundieren - Anneal

Verbindung zum 2-dimensionales Elektronengas herstellen



Physik Oscar 2001

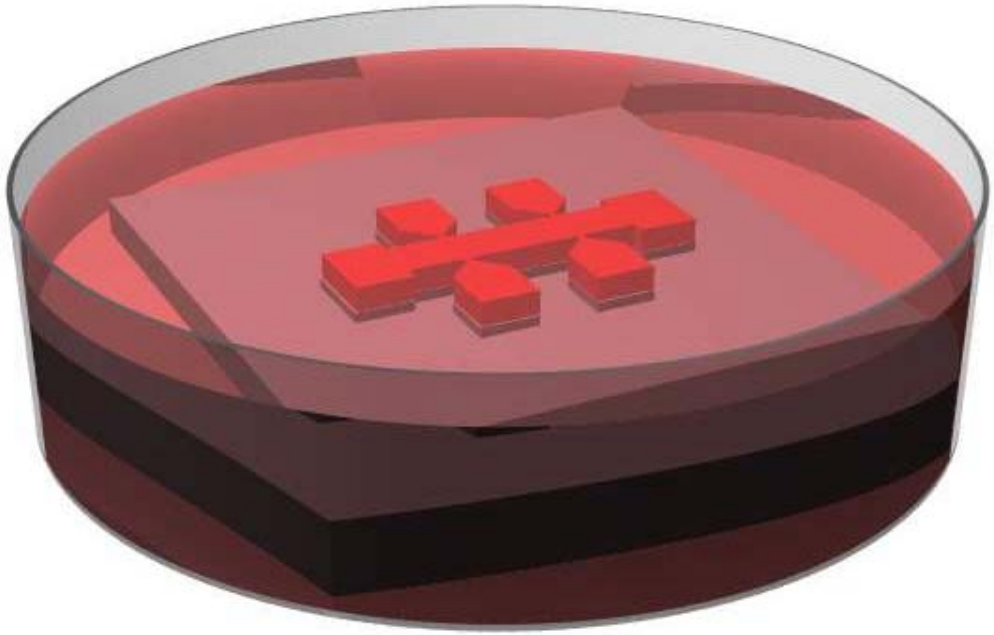
Optische Lithographie



Physik Oscar 2001

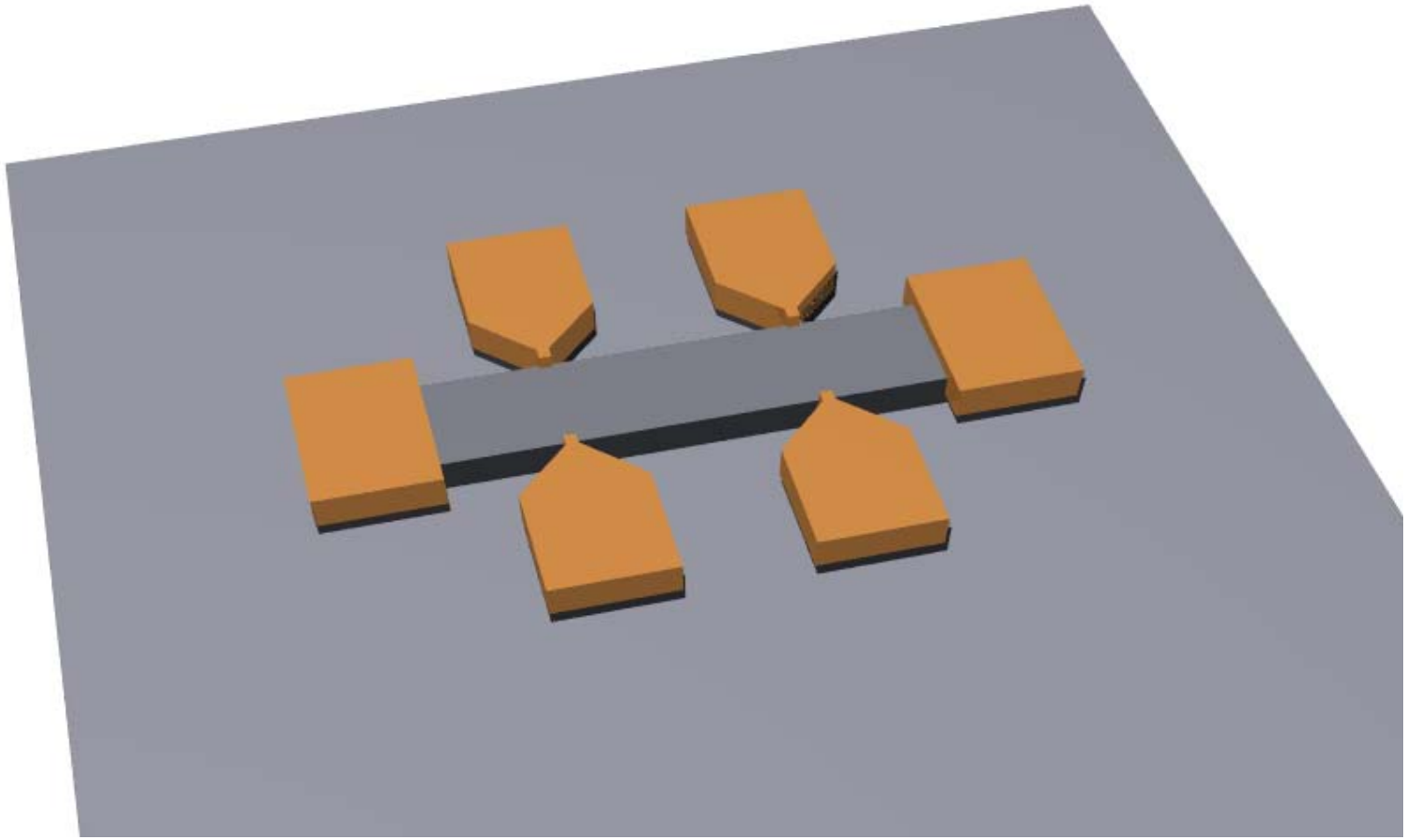
Naßchemisches Ätzen

Weg-Ätzen der belichteten Bereiche



Physik Oscar 2001

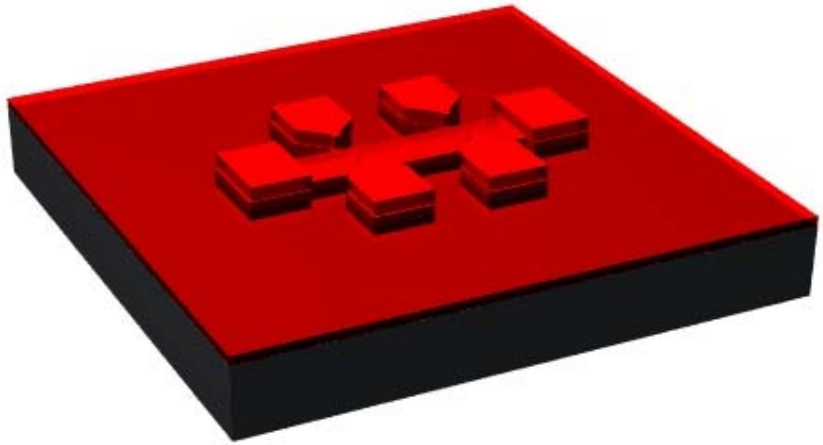
Der fertige Hallbar



Physik Oscar 2001

Elektronenstrahl-Lithographie

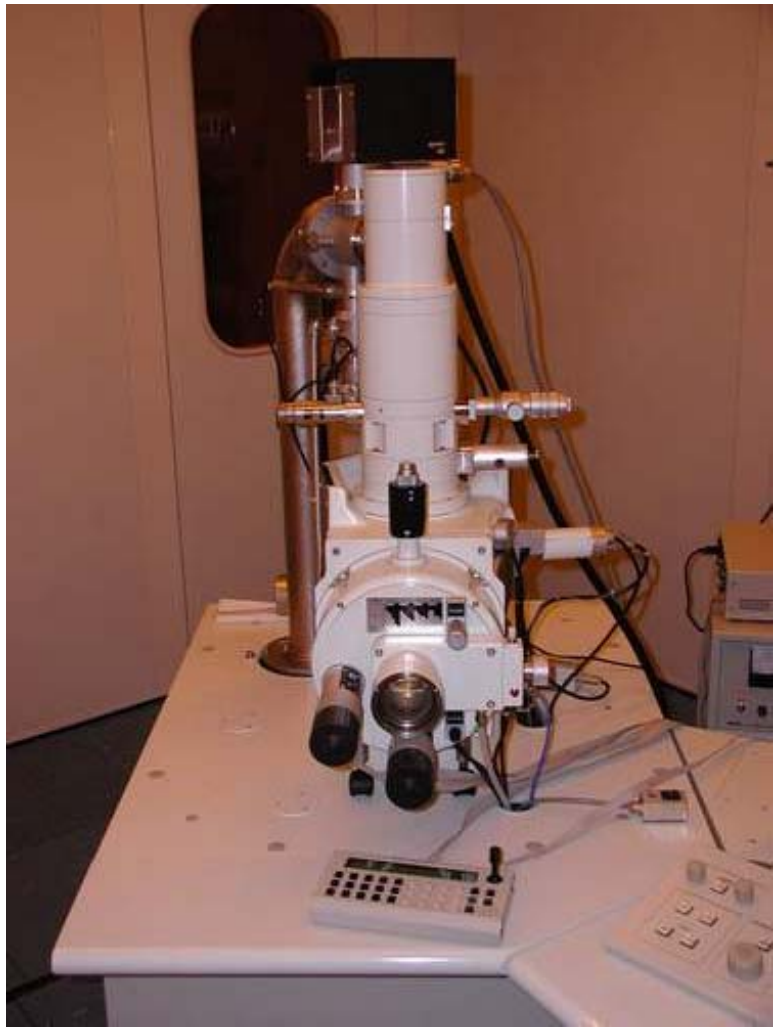
Elektronen-empfindlichen
Photolack auftragen



Physik Oscar 2001

Elektronenstrahl-Lithographie

Rasterelektronen-
mikroskop



Physik Oscar 2001

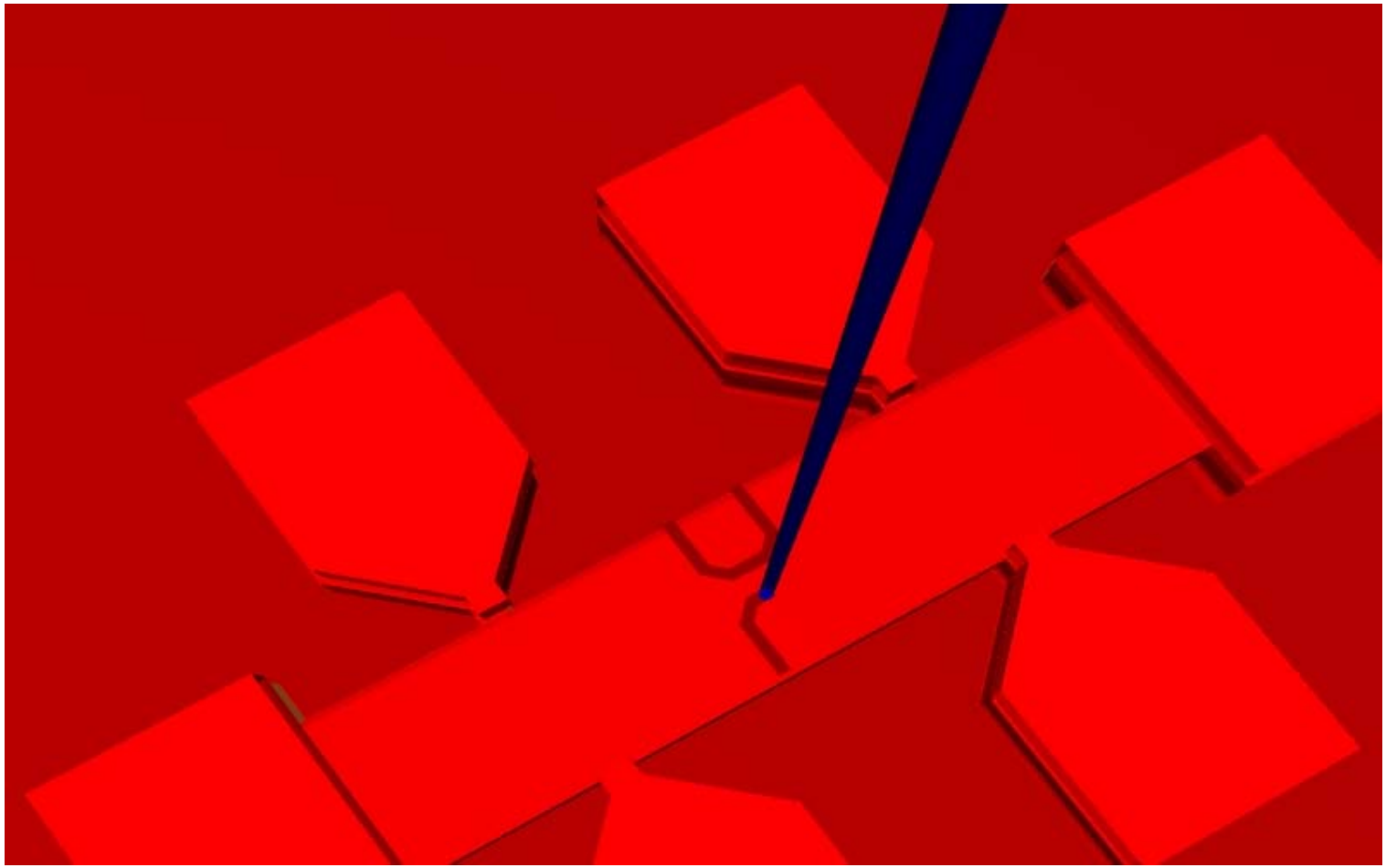
Elektronenstrahl-Lithographie

Rasterelektronenmikroskop

Physik Oscar 2001

Elektronenstrahl-Lithographie

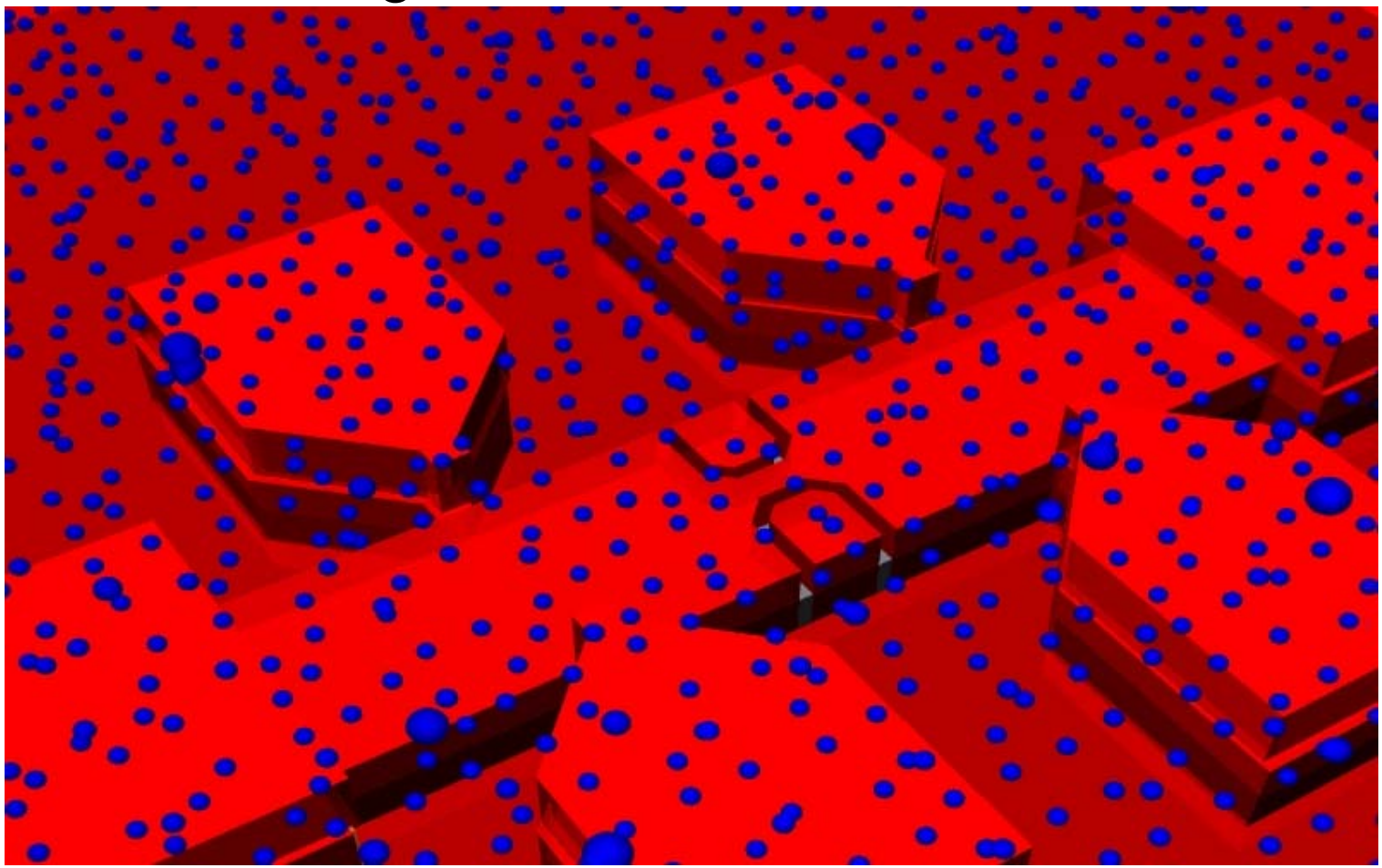
Bereiche mit Elektronenstrahl
´´belichten´´



Physik Oscar 2001

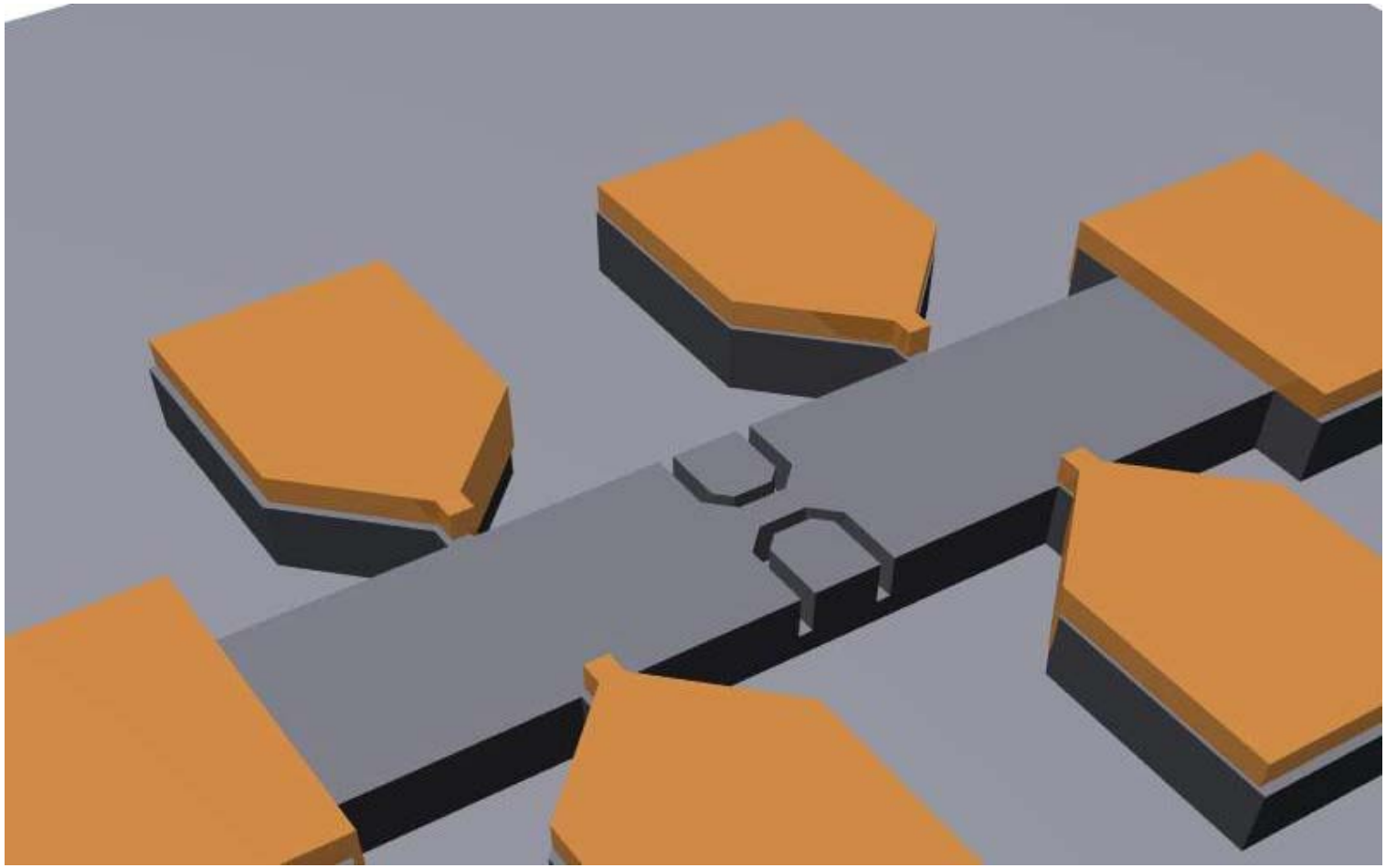
Reaktives Ionen-Ätzen

Belichtete Bereiche mit
reaktiven Ionen wegätzen



Physik Oscar 2001

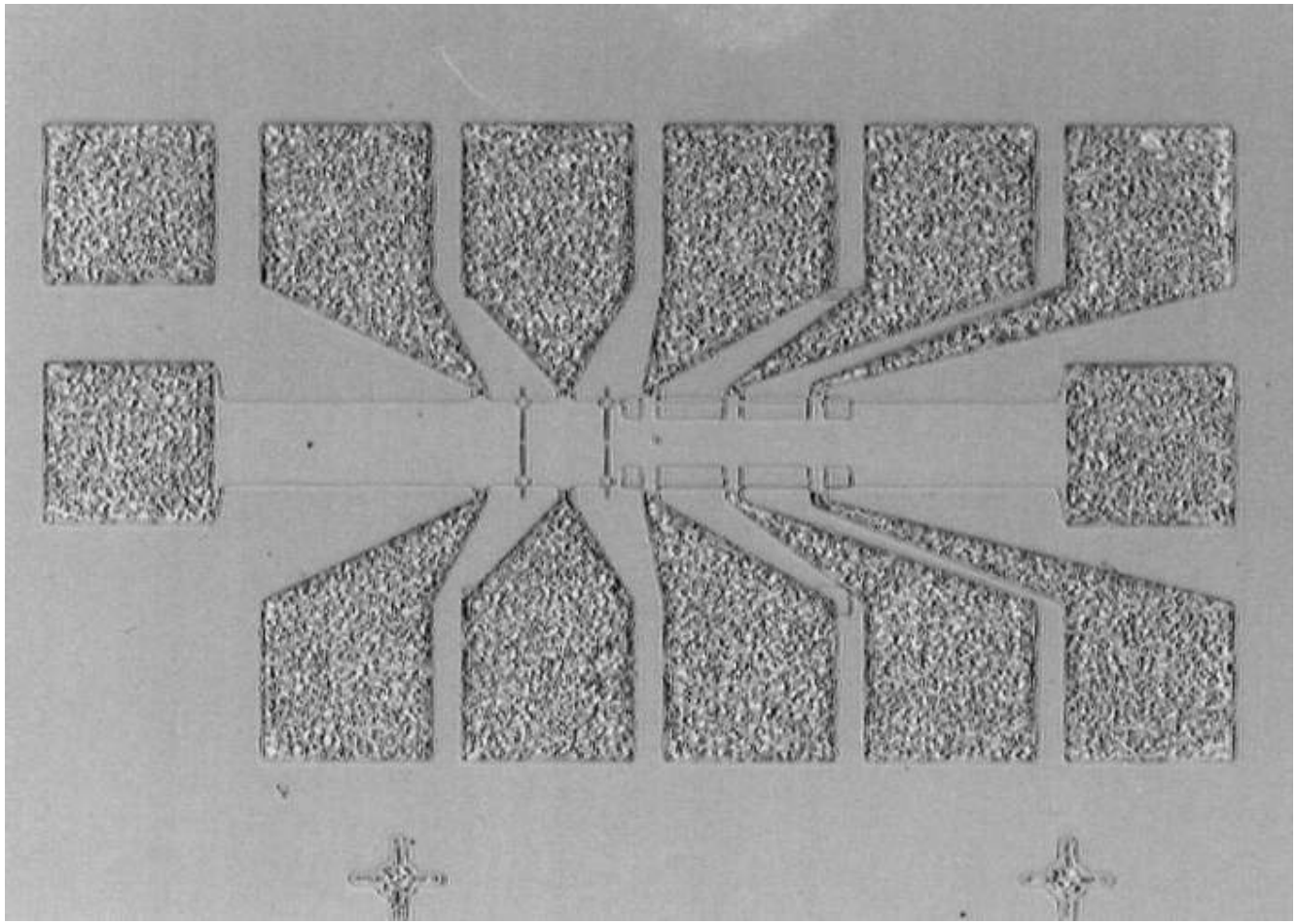
Die fertige Struktur



Physik Oscar 2001

Die fertige Struktur

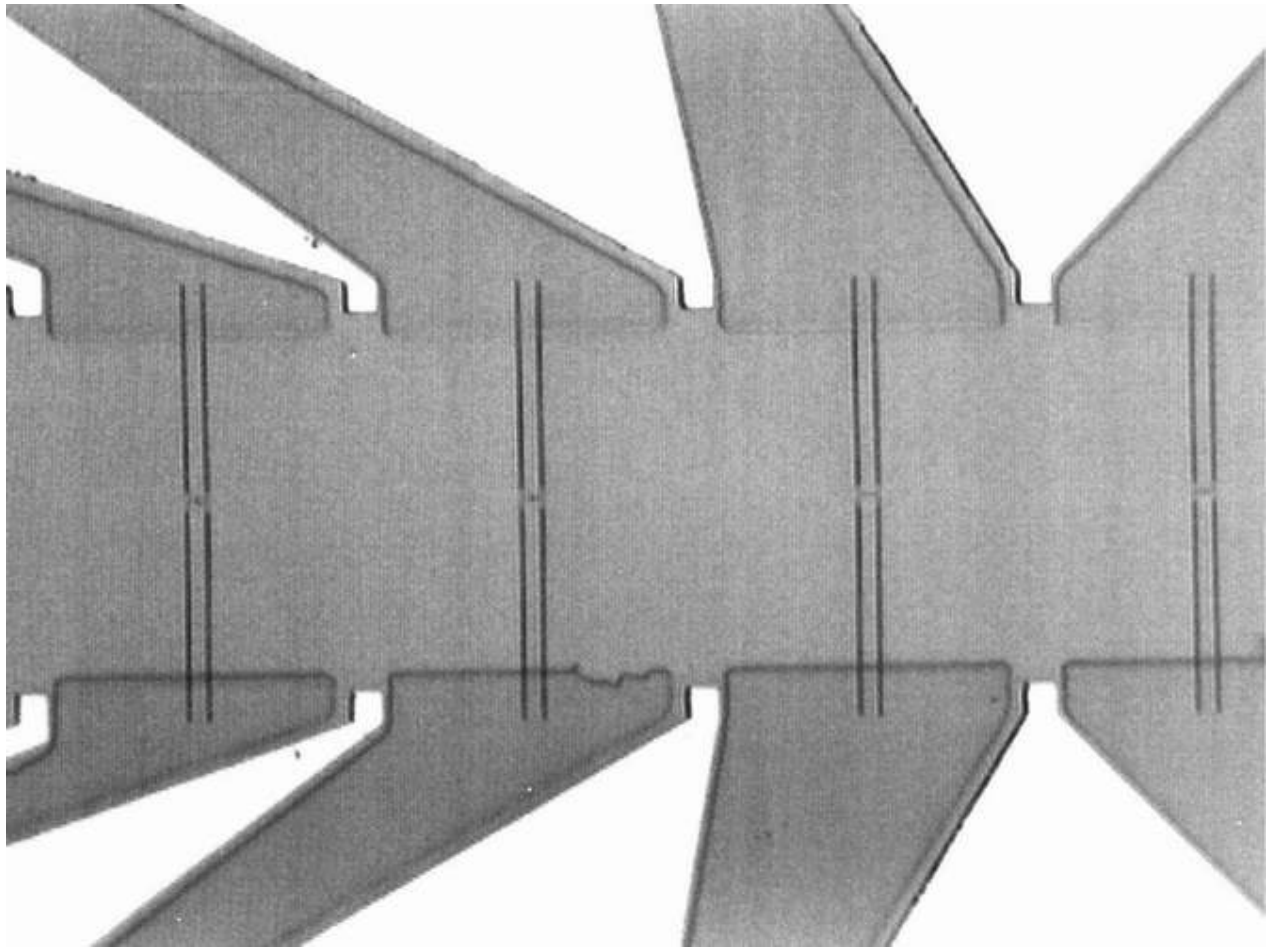
Fertiger Hallbar mit Ätzungen



Physik Oscar 2001

Die fertige Struktur

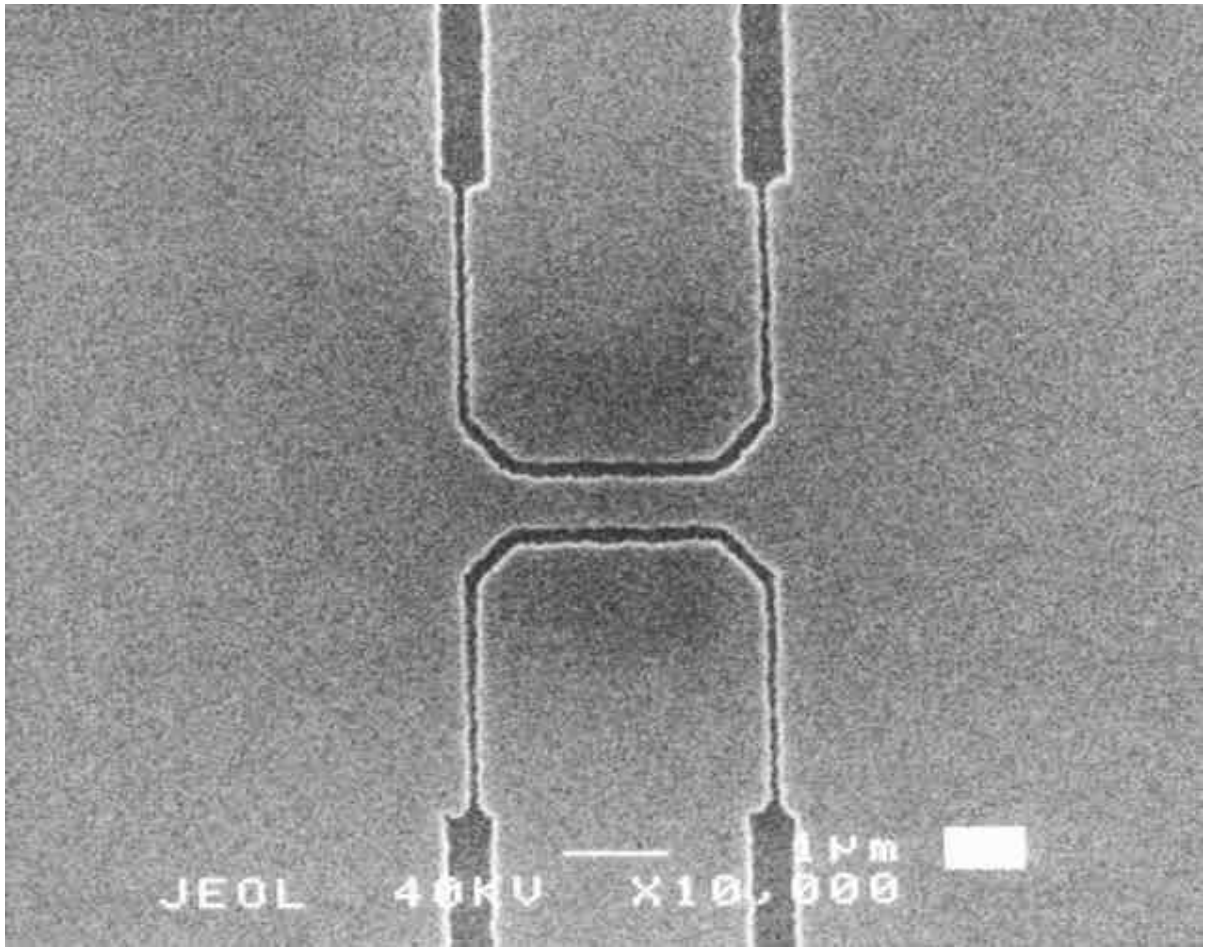
Fertiger Hallbar mit Ätzungen



Physik Oscar 2001

Die fertige Struktur

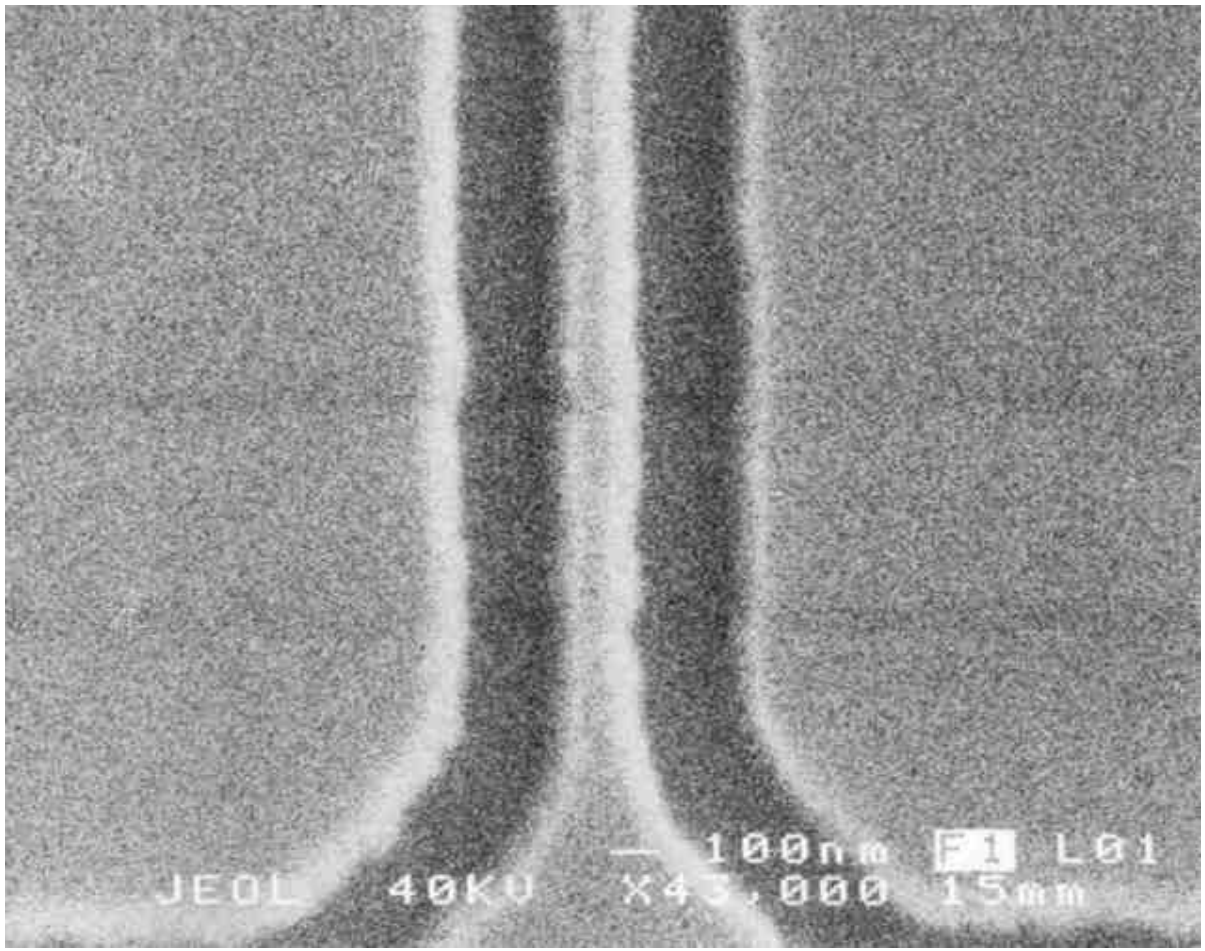
Quanten-Draht mit einer
Dicke von 300nm



Physik Oscar 2001

Die fertige Struktur

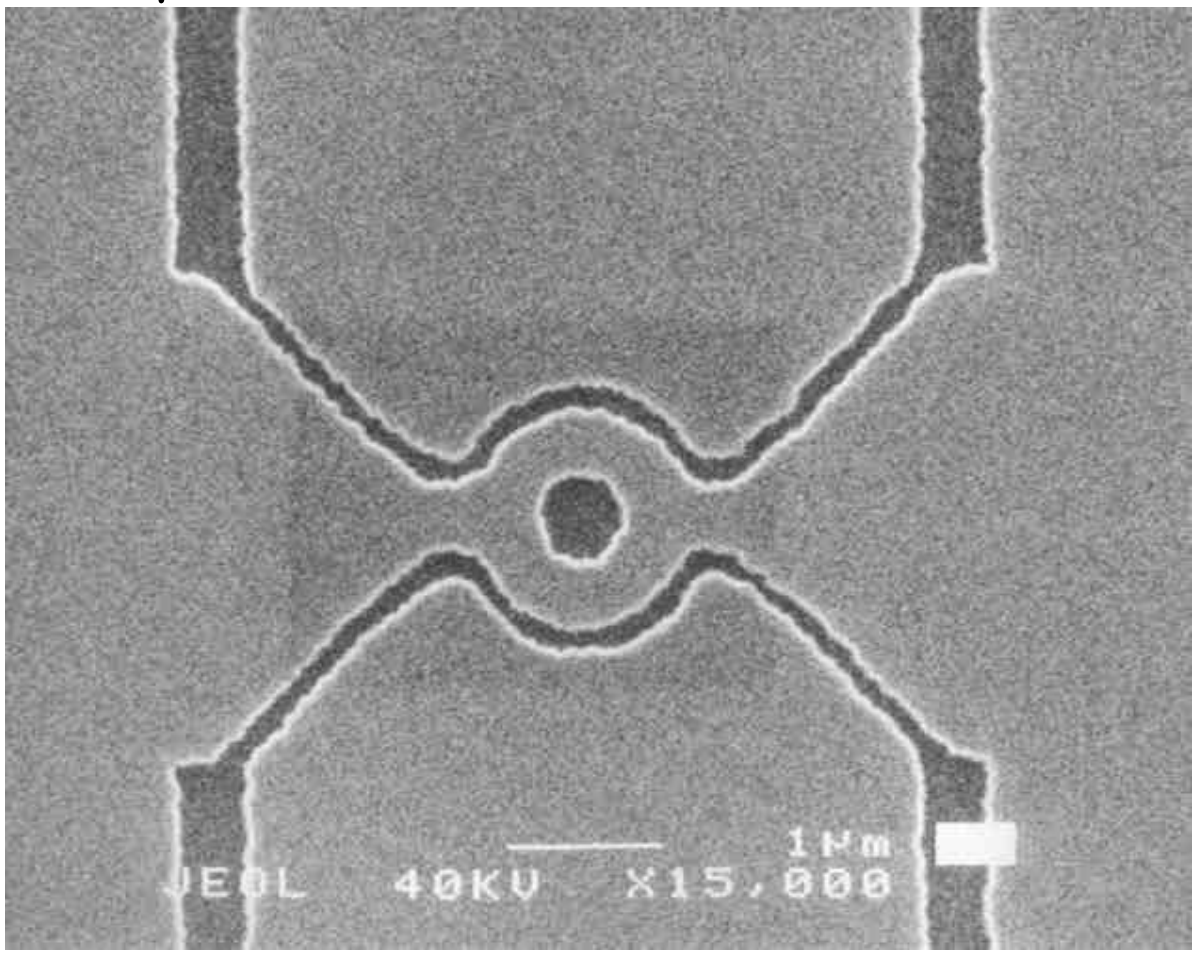
Quanten-Draht mit einer
Dicke von 100nm



Physik Oscar 2001

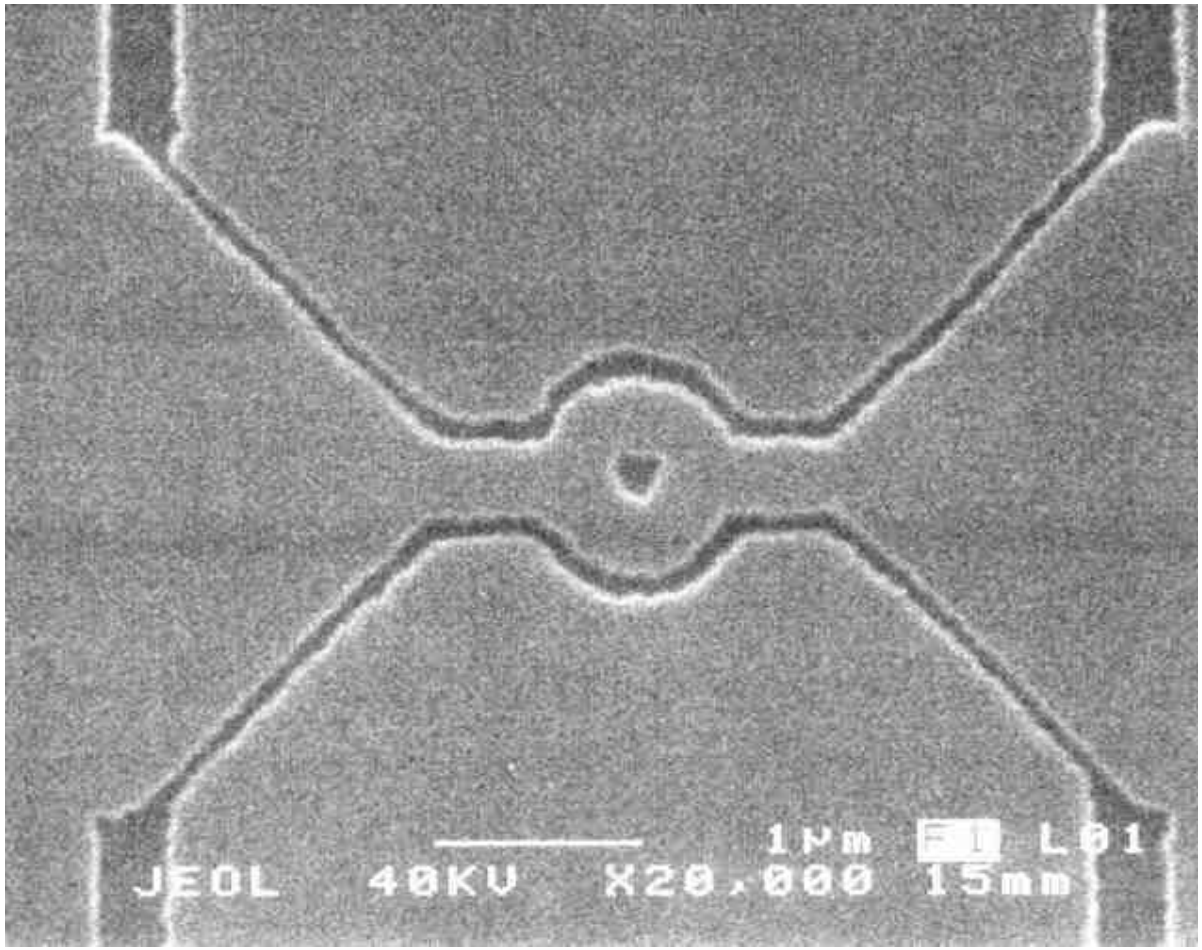
Die fertige Struktur

Aharonov-Bohm-Ring mit
Durchmesser 1µm



Die fertige Struktur

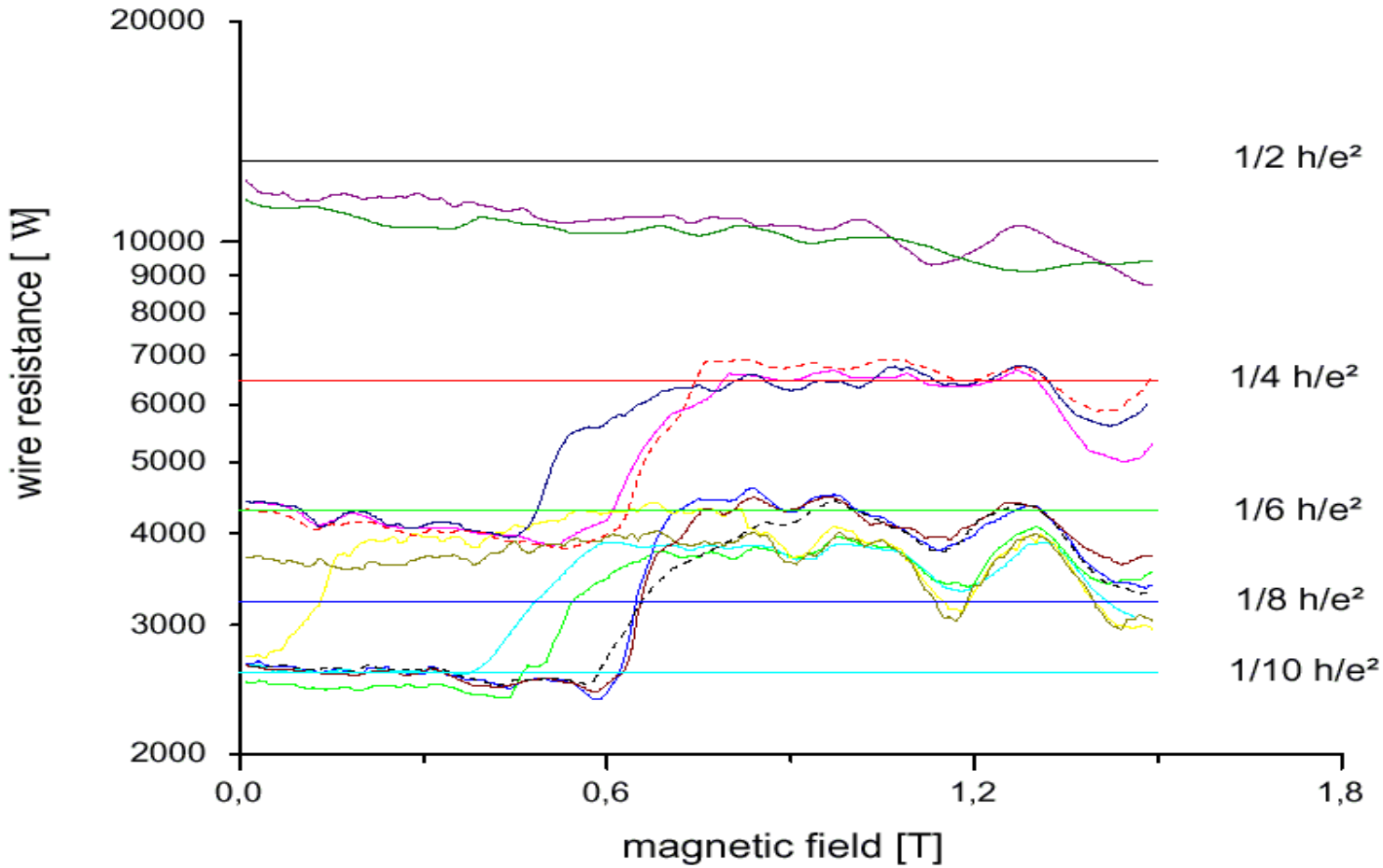
Aharonov-Bohm-Ring mit
Durchmesser 500nm



Physik Oscar 2001

Die fertige Struktur

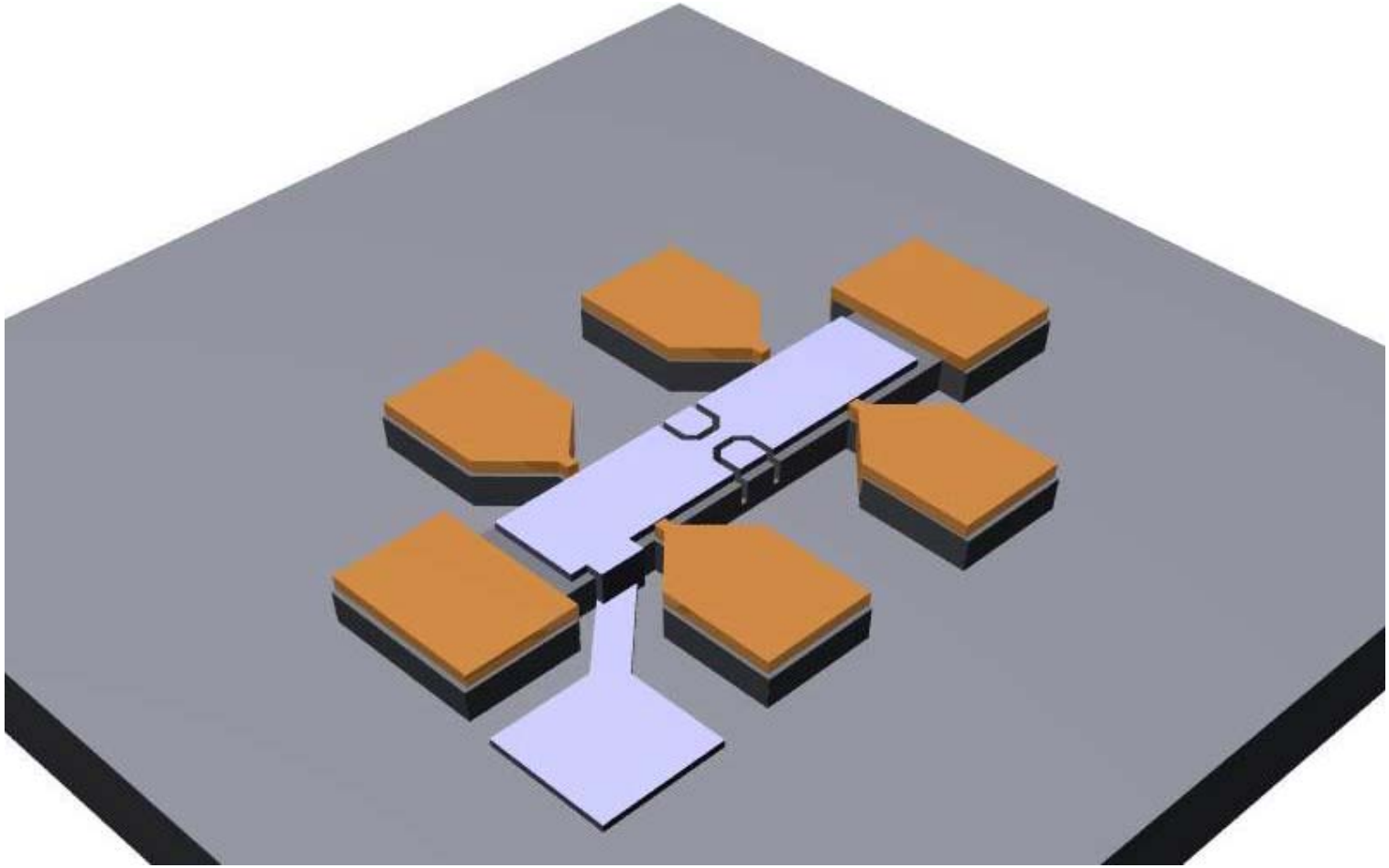
Messung bei 1.5K



Physik Oscar 2001

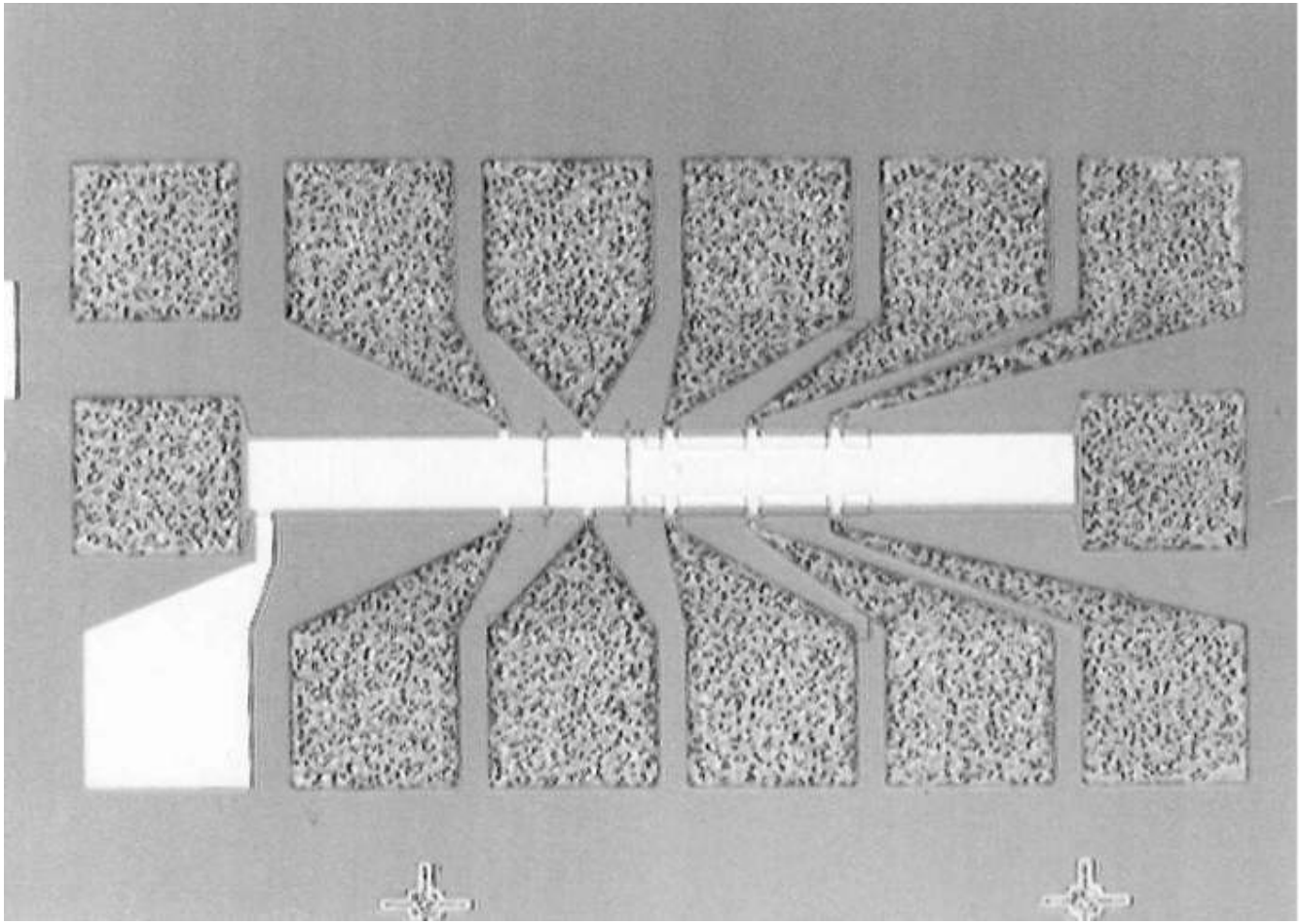
Das Topgate

Spannung an Topgate beeinflußt das darunterliegende Elektronengas



Physik Oscar 2001

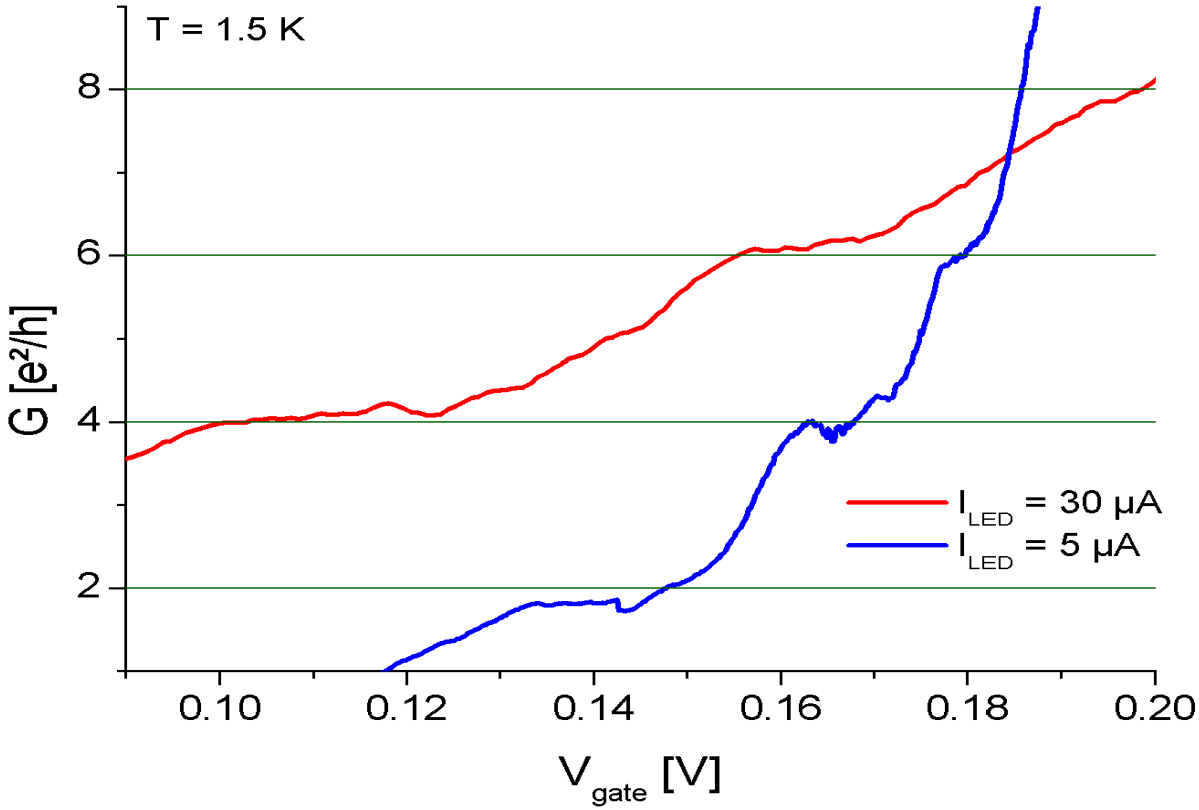
Das Topgate



Physik Oscar 2001

Das Topgate

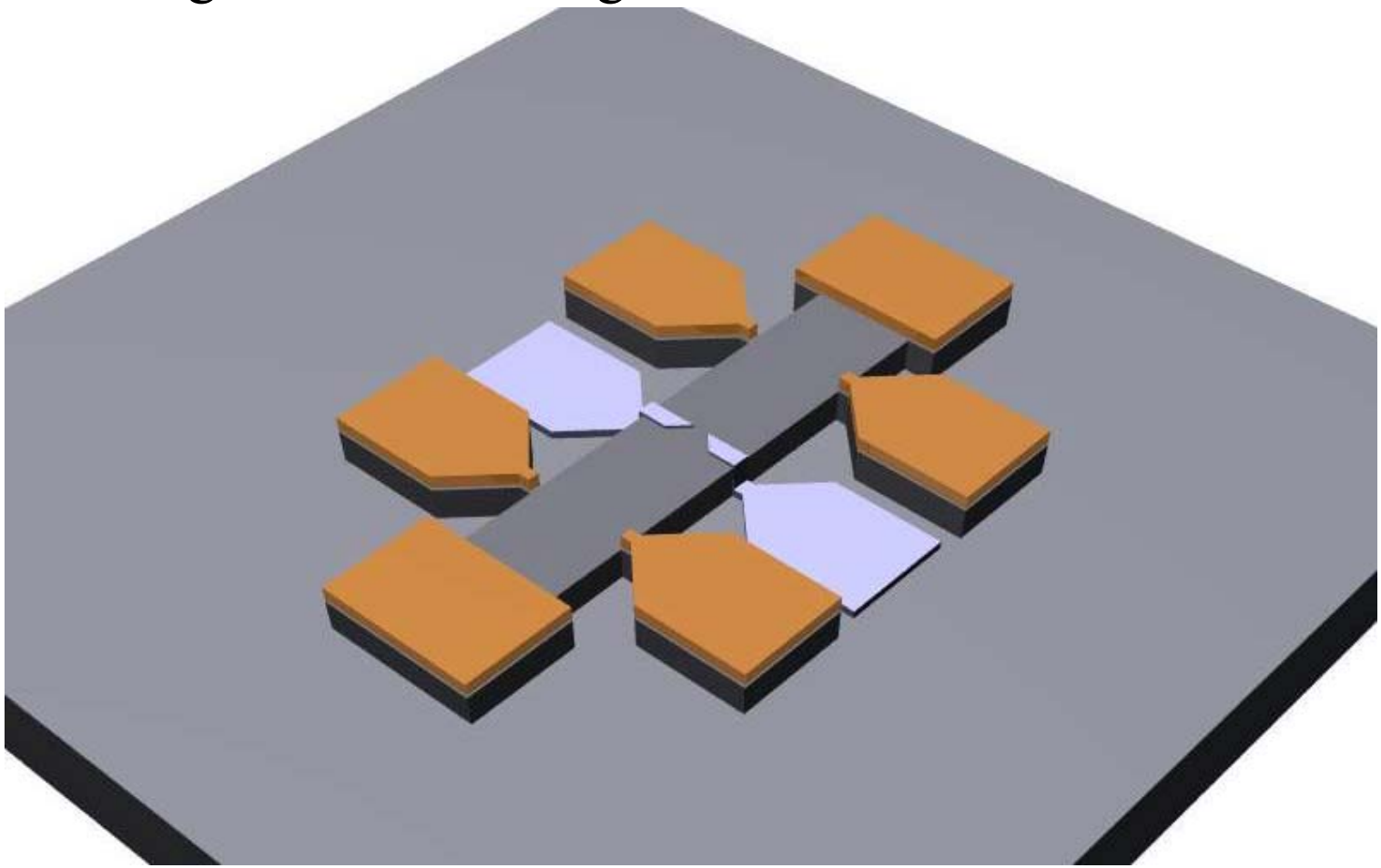
Messung bei 1.5K



Physik Oscar 2001

Das Splitgate

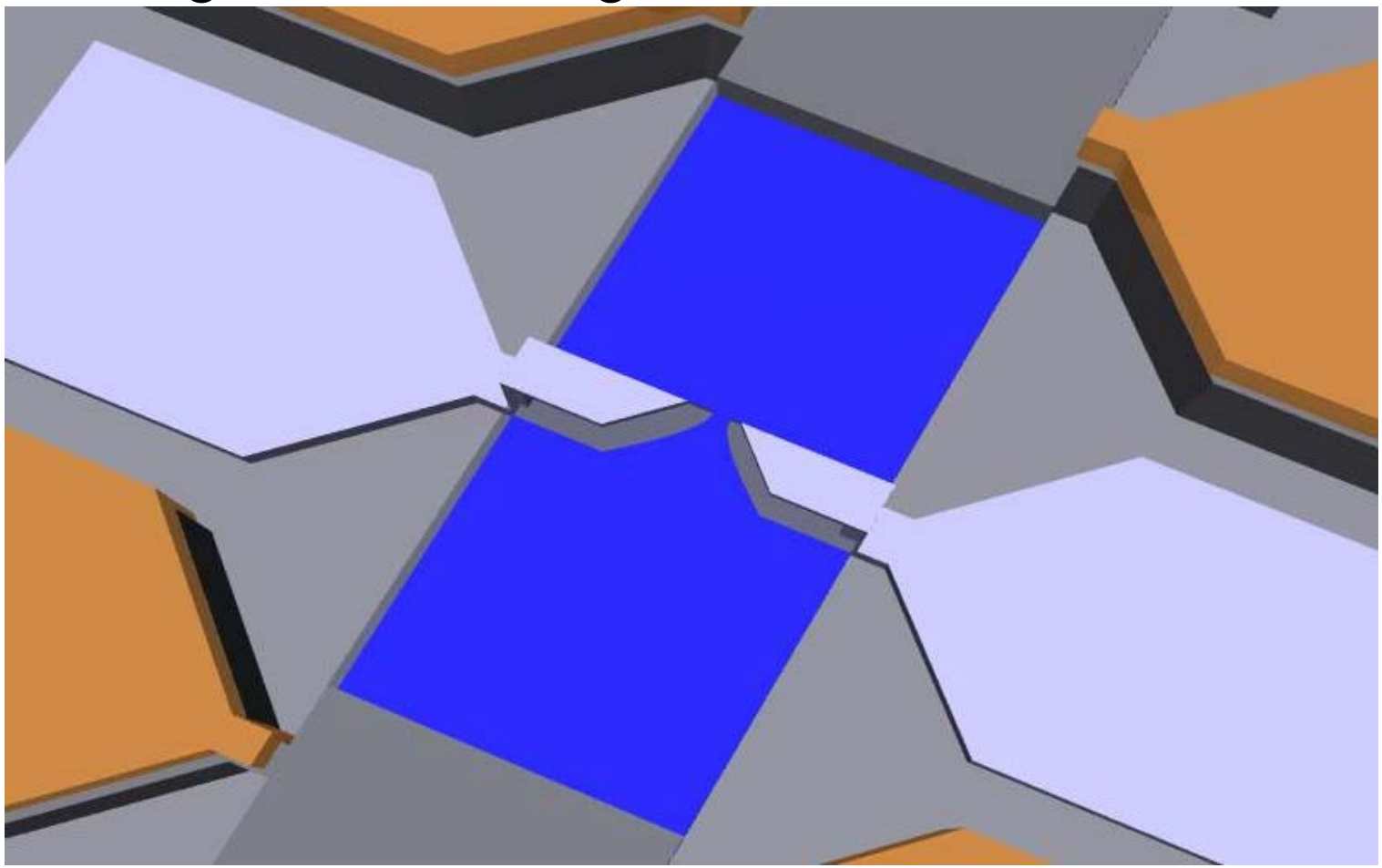
Spannung an Gate beeinflußt das darunterliegende Elektronengas



Physik Oscar 2001

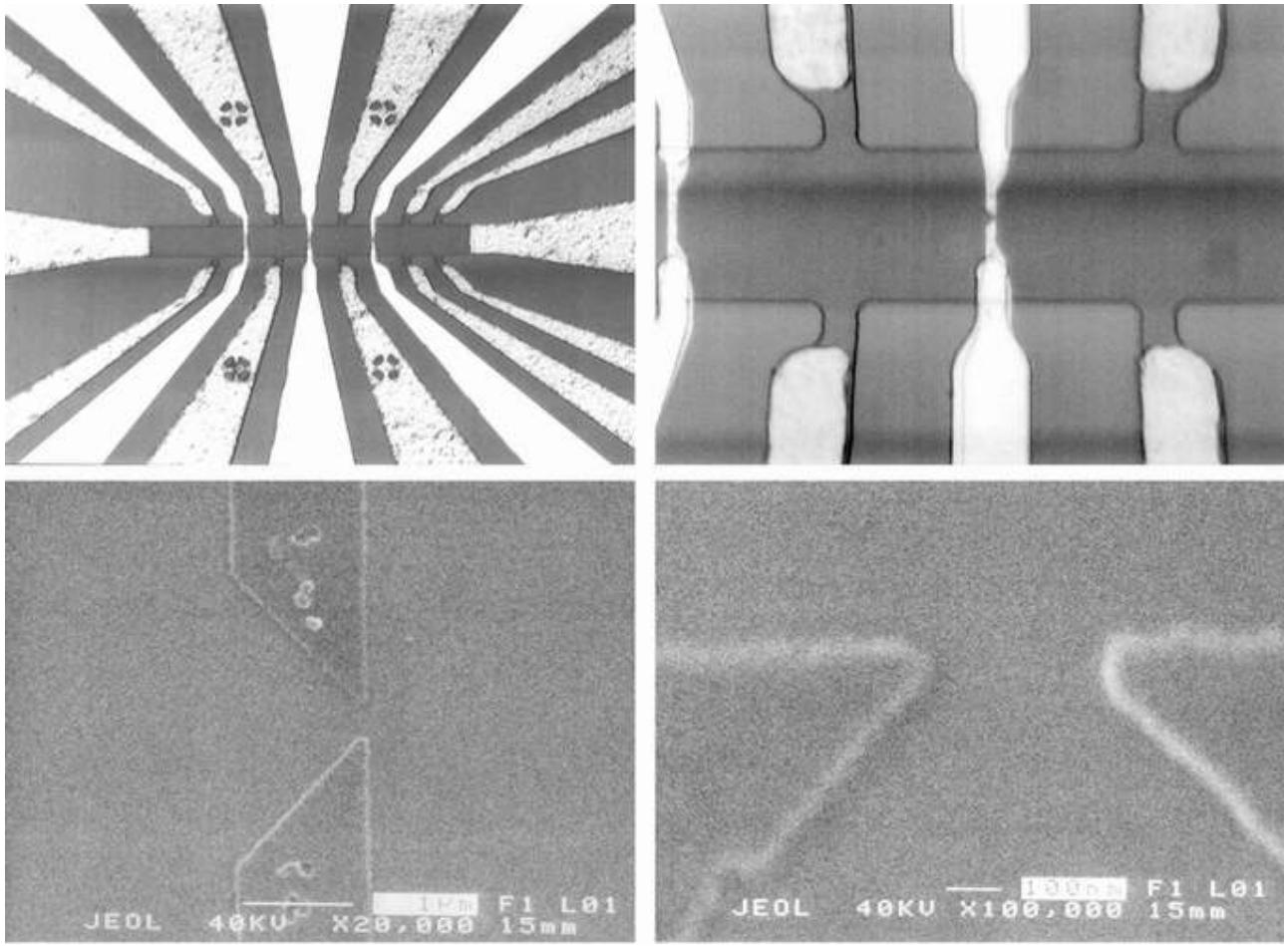
Das Splitgate

Spannung an Gate beeinflußt das darunterliegende Elektronengas



Physik Oscar 2001

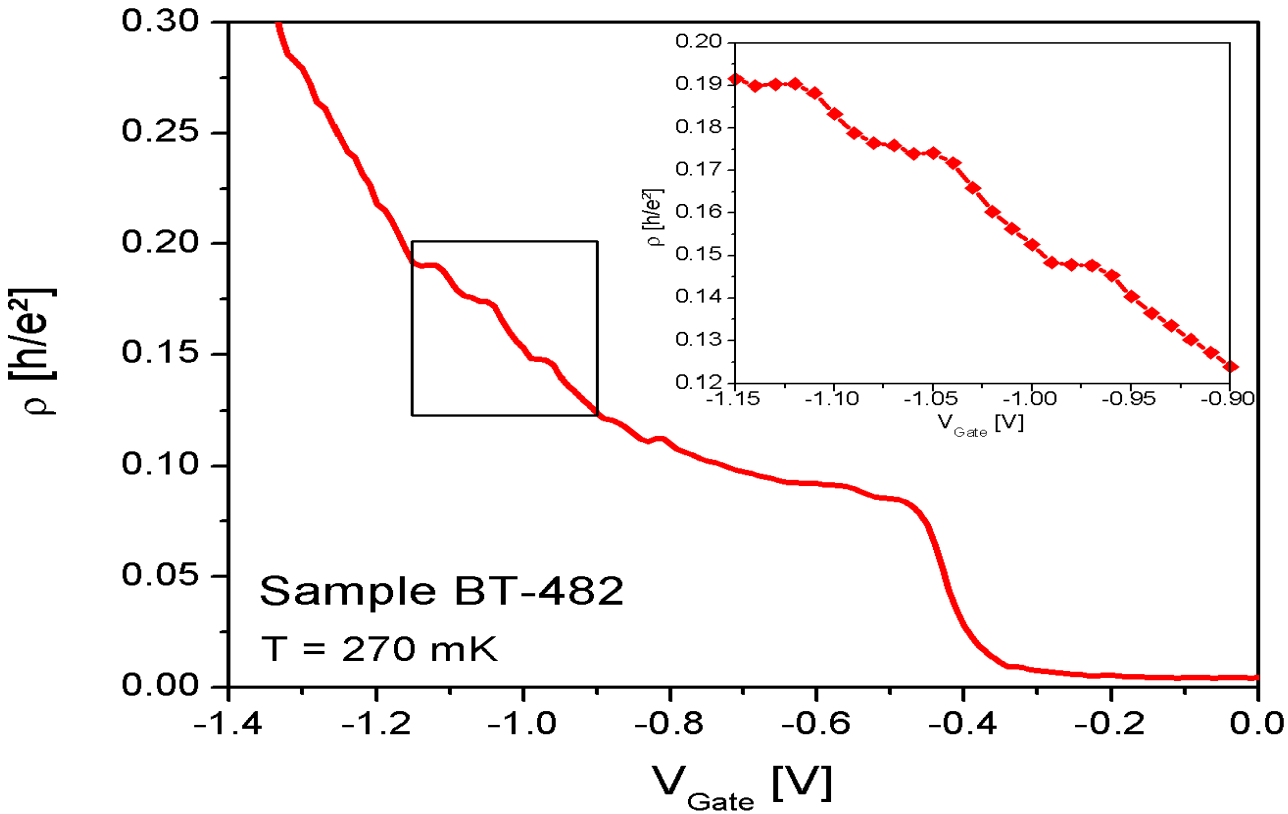
Das Splitgate



Physik Oscar 2001

Das Splitgate

Messung bei 0.27K



Physik Oscar 2001

Zusammenfassung

- Elektronen haben Welleneigenschaften
- Diese Eigenschaften spielen bei kleinen Bauteilen eine wesentliche Rolle
- Durch Kombination verschiedener Materialien kann man 2D-Elektronenschichten herstellen
- Die Herstellung erfolgte mittels optische Lithographie, Aufdampfen von Metallen, naßchemischen Ätzen, Elektronenstrahllithographie und reaktiven Ionenätzen
- Elektrische Messungen an den Strukturen ergaben, daß der Widerstand quantisiert ist

Physik Oscar 2001