



Doctoral Thesis

## **Erzeugung spinpolarisierter Elektronen durch Photoemission aus Galliumarsenid und ihre Beugung(LEED) an Gold(110)**

**Author(s):**

Reihl, Bruno

**Publication Date:**

1980

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000205093> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 6559

ERZEUGUNG SPINPOLARISierter ELEKTRONEN DURCH PHOTOEMISSION  
AUS GALLIUMARSENID UND IHRE BEUGUNG (LEED) AN GOLD (110)

---

A B H A N D L U N G

zur Erlangung des Titels eines  
Doktors der Naturwissenschaften

der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von  
Reihl Bruno  
Diplomphysiker  
geboren am 10. Oktober 1954  
von Deutschland

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr. H. C. Siegmann, Referent  
Prof. Dr. P. Wachter , Korreferent

1980

## I. Einleitung

### I.1 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die niederenergetische Elektronenbeugung (englisch: Low Energy Electron Diffraction, LEED) an der Au(110)-Fläche mit spinpolarisierten Elektronen beschrieben, die mittels Photoemission aus GaAs erzeugt werden. Der Polarisationsvektor  $\vec{P}$  für ein Elektronenensemble, in dem  $\vec{s}_i$  der Spinvektor des  $i$ -ten Elektrons sei, wird anschaulich als das normierte arithmetische Mittel aller möglichen Spinrichtungen im Ensemble definiert:

$$(1) \quad \vec{P} = \Sigma \vec{s}_i / \Sigma |\vec{s}_i| ,$$

wobei über alle Elektronen im Strahl summiert wird.

$P = |\vec{P}|$  ist der Polarisationsgrad mit  $0 \leq P \leq 1$ .

Die spinpolarisierten Elektronen werden aus Zn-dotiertem GaAs durch Bestrahlen mit zirkular-polarisiertem Licht photoemittiert. Die emittierende Fläche ist die (110)-Spaltfläche, die zur Erniedrigung der Austrittsarbeit mit Cäsium und Sauerstoff bedeckt werden muss. Diese Präparation der GaAs-Oberfläche zur Maximierung von Intensität und Polarisation wurde mittels Mott-Streuung studiert. Dabei wurde Einsicht in die Komposition der Cs-O-Schicht gewonnen und die stark depolarisierende Spinaustauschstreueung in ihr entdeckt. Der Einfluss der Zn-Dotierung und der Temperatur auf die Spinrelaxation im GaAs-Innern wurde untersucht und die gefundenen Ergebnisse im Rahmen der Bandstruktur von GaAs verstanden. In Zusammenarbeit mit anderen Gruppen wurde die Bedeutung der emittierenden Kristallflächen und ihre Oberflächenrekombinationsraten erkannt. Die für eine Quelle spinpolarisierter Elektronen charakterisierenden Merkmale: Polarisation, Intensität, Energie, Energiebreite, Richtstrahlwert und Stabilität wurden bestimmt und mit existierenden Quellen verglichen.

Bei der Beugung von Elektronen im Niederenergiebereich 30-400 eV (LEED) müssen besondere elektronenoptische Bedingungen erfüllt sein: geringe Divergenz, kleine Energiehalbwertsbreite, gute fokale Eigenschaften und konstante Intensität bei Variation der Primärenergie, etc. Die Verwendung von spinpolarisierten Elektronen erhöht die Anforderungen an die Elektronenoptik, da quasi-elastische Streuung an den Blenden die Spinpolarisation vermindert, und der für transversale Polarisation notwendige  $90^\circ$ -Kugelkondensator eine lineare Optik unmöglich macht. Diese Problematik wurde mit einer vierelementigen Zoomlinse gelöst, deren Eigenschaften gründlich getestet wurden.

Das spinpolarisierte LEED-Experiment ist auf die Streuebene beschränkt, zu ihr steht  $\vec{P}$  senkrecht. Ein grosser zylinderförmiger LEED-Schirm ermöglicht die Orientierung des Au-Kristalls. Mit einem beweglichen 'Mini' LEED-System bestehend aus Retardierungsnetzen, Leuchtschirm mit Sondierloch und Faraday-Becher ist die Messung der Intensitäten  $I^\uparrow$  und  $I^\downarrow$  eines einzelnen LEED-Reflexes bei Modulation der Primärelektronen von Spin-auf ( $\uparrow$ ) nach Spin-ab ( $\downarrow$ ) möglich. Die totale Intensität

$$(2) \quad I(E, \theta, \phi) = \frac{1}{2} \{ I^\uparrow(E, \theta, \phi) + I^\downarrow(E, \theta, \phi) \}$$

und die wie folgt definierte Asymmetrie

$$(3) \quad \delta(E, \theta, \phi) = \frac{I^\uparrow(E, \theta, \phi) - I^\downarrow(E, \theta, \phi)}{I^\uparrow(E, \theta, \phi) + I^\downarrow(E, \theta, \phi)}$$

sind die Messgrössen dieses Experiments. Gemessen wird bei fester Primärelektronenenergie  $E$  als Funktion des Streuwinkels  $\theta$ . Es wurden signifikante von der Kristallorientierung  $\phi$  relativ zur Streuebene abhängige Asymmetrieprofile für den (00)-,  $(0\frac{1}{2})$ - und (11)-Reflex gemessen. Ist die Streuebene eine Spiegelsymmetrieebene des Kristalls, so ist  $\delta(E, \theta)$  proportional zu der von N. Müller mit Mott-Streuung gefundenen Spinpolarisation bei Streuung unpolarisierter Elektronen. Im unsymmetrischen Fall ist die Übereinstimmung bei kleinem  $\theta$  gut, bei grossem  $\theta$  gibt es

beträchtliche Unterschiede. Das kann nur im Rahmen einer dynamischen LEED-Theorie verstanden werden, wobei die besonderen Eigenschaften der Gold-(110)-Oberfläche (statistische Rekonstruktion) wichtig sind.

#### Abstract

Low Energy Electron Diffraction (LEED) from the Au(110) surface is studied with spin polarized electrons which are produced by photoemission from GaAs. The polarization vektor  $\vec{P}$  for an ensemble of electrons with  $\vec{s}_i$  the  $i$ -th electron spin may be defined as

$$(1) \quad \vec{P} = \Sigma \vec{s}_i / \Sigma |\vec{s}_i| ,$$

with the summation over all electrons in the beam.  $P = |\vec{P}|$  is the degree of polarization with  $0 \leq P \leq 1$ .

The spin polarized electrons are photoemitted from Zn-doped GaAs by irradiation with circularly polarized light. The irradiated (110) cleavage face is covered with cesium and oxygen to lower the workfunction. The preparation of the GaAs surface in order to maximize intensity and polarization was studied with Mott scattering. It was found that depending on the composition of the Cs-O layer a strongly depolarizing spin exchange scattering diminishes  $P$ . The dependence of Zn-doping and temperature on the spin relaxation in bulk GaAs was investigated and the results could be understood in the framework of the GaAs bandstructure. The influence of the emitting crystallographic face and its surface recombination was found in cooperation with other groups. The characteristic features of a source of spin polarized electrons: polarization, intensity, energy, energy width, brightness and stability were determined and compared to other existing sources.

The diffraction of electrons in the low energy region 30 - 400 eV (LEED) requires strict electron optical conditions: small divergence, narrow energy spread, good focal properties and constant beam intensity with variation of primary energy, etc. The conditions are even stricter with spin polarized electrons, since quasielastic scattering from the apertures may diminish  $P$ , furthermore the  $90^\circ$  spherical condenser necessary to obtain a transverse polarization prevents a linear optic. All this was solved by using a four element zoom lens which was carefully checked.

The spin polarized LEED experiment is limited to the scattering plane,  $\vec{P}$  is perpendicular to it. The Au crystal is orientated by the LEED reflexes on a big cylindrical screen. A movable 'mini' LEED system consisting of retarding nets, screen with probe hole and Faraday cup enables the measurement of the intensities  $I^\uparrow$  and  $I^\downarrow$  of a single LEED reflex while modulating the primary electron spin polarization from spin-up ( $\uparrow$ ) to spin-down ( $\downarrow$ ). The total intensity

$$(2) \quad I(E, \theta, \phi) = \frac{1}{2} \{ I^\uparrow(E, \theta, \phi) + I^\downarrow(E, \theta, \phi) \}$$

and the so defined asymmetry

$$(3) \quad \delta(E, \theta, \phi) = \frac{I^\uparrow(E, \theta, \phi) - I^\downarrow(E, \theta, \phi)}{I^\uparrow(E, \theta, \phi) + I^\downarrow(E, \theta, \phi)}$$

are measured at constant primary electron energy  $E$  as function of scattering angle  $\theta$ . Significant asymmetry profiles were measured for the (00)-,  $(0\frac{1}{2})$ - and (11)-reflex depending on the crystal orientation  $\phi$  relative to the scattering plane. When the scattering plane is a mirror symmetry plane of the crystal,  $\delta(E, \theta)$  was found to be proportional to N. Müller's spin polarization measured by a Mott detector after scattering unpolarized electrons.

In the asymmetric case the agreement is good at small  $\theta$ , but there are differences at large  $\theta$ . This may only be understood in the framework of a dynamical LEED theory taking into account the particular properties of the Au(110) surface (statistical disorder).

## I.2 Einordnung des Experiments

Spinpolarisierte Elektronenstrahlen spielen eine immer grössere Rolle in der Atom-, Festkörper- und Hochenergiephysik. Einen allgemeinen Ueberblick über die Physik mit spinpolarisierten Elektronen gibt Kessler<sup>1</sup>. Ueber neuere Ergebnisse der Hochenergiephysik berichten Prescott et al.<sup>2</sup> und Alguard et al.<sup>3</sup>. In der Festkörperphysik fassen Siegmann<sup>4</sup>, Campagna et al.<sup>5</sup> und Alvarado et al.<sup>6</sup> die spinpolarisierte Photoemission und Kisker et al.<sup>7</sup> und Landolt und Campagna<sup>8</sup> die spinpolarisierte Feldemission zusammen.

Grundsätzlich lassen sich Experimente mit spinpolarisierten Elektronen in zwei Gruppen teilen:

- i) Elektronen werden aus einem physikalischen System (Atomstrahl, Festkörper) extrahiert, und anschliessend wird ihre Spinpolarisation als Funktion der den Emitter definierenden physikalischen Parameter gemessen. Das liefert Informationen über den Emitter.
- ii) Elektronen bekannter Polarisation  $P \neq 0$  werden an einem Target gestreut und die spinabhängige Wechselwirkung analysiert. Solche Experimente wurden bisher in grosser Zahl in der Atomphysik<sup>1</sup> und Hochenergiephysik<sup>3</sup> durchgeführt. In der Festkörperphysik sind Streuexperimente an Einkristalloberflächen erst im Jahr 1979 gelungen, obwohl die allerersten Experimente von Davisson und Germer an Ni(111)<sup>9</sup> bereits 1929 durchgeführt wurden. Erst als Quellen intensiver, polarisierter Elektronen im Niederenergiebereich und die Techniken der Oberflächenphysik entwickelt waren, gelangen Kirschner und Feder<sup>10</sup> bei