

## Dispersionsrelation von Oberflächenplasmonen

### 1. Zielsetzung des Versuchs

Mit Hilfe der Methode der abgeschwächten Totalreflexion (ATR) soll die Dispersionsrelation der Oberflächen-Plasmaschwingung an einer Silberoberfläche bestimmt werden.

Eine Oberflächen-Plasmaschwingung ist eine elektrodynamische, kollektive Anregung, die sich entlang der Grenzfläche zwischen dem Metall und Vakuum (bzw. einem Dielektrikum) longitudinal ausbreitet. Sie entsteht aus Dichteschwingungen des Elektronengases im Leitungsband des Metalls und den daran gekoppelten Schwingungen im Dielektrikum. Das Quant dieser Schwingung wird daher als Oberflächenplasmon-Polariton oder kurz als Oberflächenplasmon bezeichnet.

In diesem Versuch sollen nichtstrahlende Oberflächenplasmonen durch einfallendes, monochromatisches Licht angeregt werden. Dies setzt sowohl Energie- als auch Impulserhaltung voraus. Diese Bedingungen lassen sich mit direkt auf die Metalloberfläche einfallendem Licht nicht erfüllen, weil bei gegebener Wellenlänge des einfallenden Lichts der Wellenvektor zu klein ist. Abhilfe lässt sich durch Prismen schaffen, die den Wellenvektor des Lichtes um den Faktor des Brechungsindex  $n$  erhöht, und es lässt sich ein Plasmon in einem dünnen Silberfilm anregen.

### 2. Vorkenntnisse

2.1 Optische Eigenschaften von Metallen, Drude Modell, optische Konstanten, Fresnel-Gleichungen, Dispersionsrelationen, Plasma-Schwingungen in Metallen.

2.2 Strahlende und nicht-strahlende Oberflächenplasmonen, Dispersionsrelation der Oberflächenplasmonen.

2.3 Anregung von Oberflächenplasmonen, die Methode der abgeschwächten Totalreflexion, Kretschmann-Konfiguration.

2.4 Hg-Lampe, Interferenzfilter, Polaristator, Photodiode.

2.5 Grundlagen der Vakuumtechnik (Turbomolekularpumpe, Drehschieberpumpe, Druckmessung).

2.6 Schichtdickenbestimmung mittels der Schwingquarzmethode.

### 3. Versuchsdurchführung

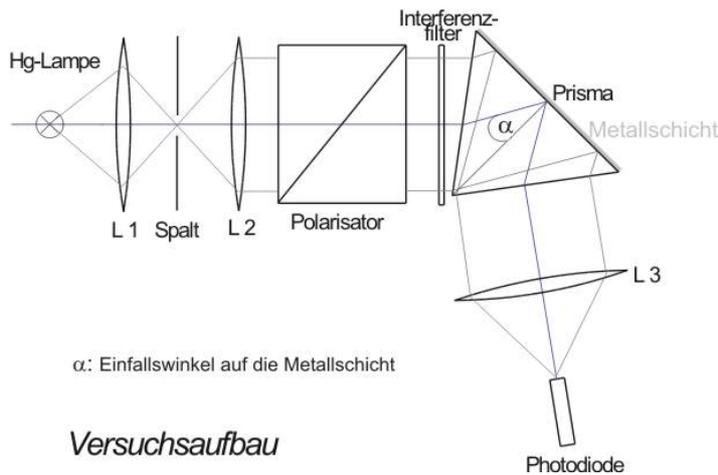
#### 3.1 Vorbereitung

Auf die Grundfläche eines Glasprismas ( $n=1.46$ ) wird eine dünne (ca. 50 nm) Silberschicht aufgedampft. Näheres zur Aufdampfanlage ist *hier* zu finden. Dazu muss das Prisma zunächst in Ethanol mittels Ultraschall gesäubert werden. Eine möglicherweise vorhandene Silberschicht kann vorher **vorsichtig** mit Ethanol abgewischt werden.

Nach dem Belüften der Aufdampfanlage wird das Prisma im Rezipienten befestigt. Dabei sollte die zu bedampfende Fläche in unmittelbarer Nähe des Schwingquarzes angebracht werden. Nach dem Schließen des Rezipientens kann abgepumpt werden. Da der Rezipient noch unter Atmosphärendruck steht, wird zuerst mit einer Vorpumpe evakuiert. Wenn ein Druck von 5 Pa erreicht ist, kann die Turbomolekularpumpe eingeschaltet werden. Ab einem Druck von 0.05 Pa kann bedampft werden. Dazu wird am Transformator der gewünschte Strom eingestellt und mit Hilfe des Schwingquarzmessgerätes die Schichtdicke bestimmt. Nach dem Aufdampfen kann das Prisma entnommen werden, und der Rezipient wird gereinigt und wieder evakuiert.

#### 3.2 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in der nachfolgenden Skizze schematisch dargestellt:



Die Messungen werden bei den unterschiedlichen Wellenlängen des Linienspektrums einer Quecksilberdampfampe durchgeführt, wobei die jeweilige Linie durch ein Interferenzfilter herausgefiltert wird. Mittels eines Polarisators können sowohl bei parallel als auch senkrecht polarisiertem Licht Messungen durchgeführt werden. Das monochromatische Licht fällt auf die Basisfläche des Prismas und wird dort totalreflektiert. Plasmonen anregen kann nur der parallel zur Einfallsebene polarisierte (p-polarisierte) Anteil des Lichtes. (Wieso ist das so?) Durch Variation des Winkels  $\alpha$  wird der Wellenvektor des einfallenden Lichtes variiert, bis im Resonanzfall die Photonen die maximale Energie an die Plasmonen übertragen, also die Intensität der reflektierten Welle am geringsten ist.

Die Plasmonen breiten sich an der Grenzfläche Metall-Luft aus. Um die Messung zu interpretieren, wird als Referenzgröße die Intensität des reflektierten s-polarisierten Lichtes (senkrecht zur Einfallsebene) herangezogen. Für verschiedene Wellenlängen werden die relativen Intensitäten  $I_p/I_s$  als Funktion des Einfallswinkels  $\alpha$  gemessen. Aus der Geometrie und dem Brechungsindex des Prismas wird der tatsächliche Einfallswinkel bestimmt und aus der Lage der Minima dieser normierten Kurven und der zugehörigen Wellenlänge wird die Dispersionsrelation des Oberflächenplasmons ermittelt.

#### 4. Auswertung

- 4.1 Tragen Sie für die verschiedenen Wellenlängen das Verhältnis von  $I_p/I_s$  als Funktion des Einfallswinkels  $\alpha$  auf und ermitteln den Resonanzwinkel.
- 4.2 Bestimmen Sie die Dispersionsrelation der Oberflächenplasmonen und tragen Sie diese sowie die Lichtgraden  $\omega = k \cdot c$  und  $\omega = k \cdot c/n$  in ein  $\omega(k)$ -Diagramm ein.
- 4.3 Berechnen sie die Frequenz der Plasmaschwingung  $\omega_p$  und daraus die Elektronendichte des Leitungsbandes  $n_e$ . Verwenden Sie dafür die Stern-Ferrell Beziehung (siehe [5]).
- 4.4 Schätzen Sie die Fehler der Messkurven und der Dispersionskurve ab.
- 4.5 Diskutieren Sie die Linienbreite der Messkurven.
- 4.6 Ermitteln Sie mit Hilfe der bisher gewonnenen Messdaten die optischen Konstanten des Silberfilms.

#### 5. Literatur

- 5.1 Ibach, Lüth: "Festkörperphysik", (Springer, Berlin 1999) (91 UIM4341)
- 5.2 A. Otto: "Excitation of Nonradiative Surface Plasma Waves in Silver by the Method of Frustrated Total Reflection", Z. Phys. 216 (1968)
- 5.3 H. J. Simon, D. E. Mitchell, J. G. Watson: "Surface Plasmons in silver films - a novel undergraduate experiment", Am. J. Physics 43, 630 (1973)
- 5.4 H. Raether: "Surface plasmons on smooth and rough surfaces and on gratings", Springer Tracts in Modern Physics 111, (Springer, Berlin, 1988) (73 UAY1529-111)

- 5.5 R. E. Hummel: "Optische Eigenschaften von Metallen", (Springer, Berlin, 1971) (83 UIM1238)
- 5.6 Ch. Kittel: "Einführung in die Festkörperphysik", (R. Oldenbourg, München, 1999) (91 UIM1131)
- 5.7 N. W. Ashcroft, N. D. Mermin: "Solid State Physics", (Harcourt Brace College Publishers, New York, 1988) (91 UIM5216)
- 5.8 H. Ehrenreich, H.R. Philipp: "Optical Properties of Ag and Cu", Phys. Rev. 128, 1622 (1962)
- 5.9 P.B. Johnson, R.W. Christy: "Optical Constants of the Noble Metals", Phys. Rev. B6, 4370 (1972)
- 5.10 D. G. Hanken, R. M. Corn: "Electric Fields and Interference Effects inside Noncentrosymmetric Multilayer Films at Electrode Surfaces from Electro-chemically Modulated Surface Plasmon Resonance Experiments", Analytical Chemistry 69, 3665 (1997)
- 5.11 M. Wutz, H. Adam, W. Walcher: "Theorie und Praxis der Vakuumtechnik", (Vieweg, Braunschweig, 1988) (73 UBU1175)
- 5.12 E. Hecht: "Optik", (Addison-Wesley, New York, 1989) (91 UGH1730)
- 5.13 G. Sauerbrey: "Verwendung von Schwingquarzen zur Wägung dünner Schichten und zur Mikrowägung", Z. Phys. 155, 206 (1959)