

Probenpotentialmodulation zur Spektroskopie elektronenangeregter Auger-Elektronen mit einem Gegenfeldanalysator

Hans Brodersen, Andreas Pickuth und Werner Legler

Institut für Angewandte Physik der Universität Hamburg

Z. Naturforsch. **42a**, 935–942 (1987); eingegangen 30. Juli 1987

Sample Potential Modulation for Spectroscopy of Electron Excited Auger Electrons with a Retarding Field Analyser

Electron excited Auger electrons are always superposed with primary electrons rescattered by the sample. A technique for separating the characteristic Auger spectrum from the total energy distribution is described. The method uses a retarding field analyser and modulation of the sample potential instead of the usual retarding grid modulation. Theoretical aspects of this method and illustrating experimental results with samples of amorphous carbon and KCl are discussed. The suppression of the spectrum of the scattered electrons allows recording of Auger spectra with excitation energies near threshold. This low energy excitation minimizes surface destruction of samples, which are sensitive to electron induced dissociation as in the case of alkali halides. The improved signal-background-ratio of the Auger spectra measured with sample potential modulation and the possibility for simultaneous LEED investigations gives a new attractiveness to the retarding field analyser.

Einleitung

In der Auger-Elektronenspektroskopie hat sich von den in der Literatur beschriebenen Energieanalytoren [1]–[5] der Zylinderspiegelanalysator (CMA, Cylinder Mirror Analyser) durchgesetzt, der als energetischer Bandpaßfilter bei gutem Signal-Rausch-Verhältnis eine hohe Transmission aufweist. Für unsere Untersuchungen über den Einfluß von Elektronenbeschuß auf Struktur, Stöchiometrie, Dissoziation [6] und Anregung von KCl-Einkristalloberflächen wurde der Gegenfeldanalysator (RFA, Retarding Field Analyser) gewählt, welcher zwar als energetischer Hochpaßfilter ein schlechteres Signal-Rausch-Verhältnis besitzt, jedoch gleichzeitig LEED-Untersuchungen (Low Energy Electron Diffraction) der Proben gestattet.

Um aus dem Kollektorstrom eines Gegenfeldanalysators, der als Hochpaß wirkt, die Energieverteilung $N(E)$ oder deren Ableitung $dN(E)/dE$ – im folgenden Auger-Spektrum genannt – zu erhalten, ist eine ein- bzw. zweimalige Differentiation des Signals erforderlich. Dazu wird üblicherweise die Bremsspannung mit einer sinusförmigen

Wechselspannung überlagert und mit der Lock-In-Technik wird eine elektronische Differentiation durchgeführt, die die gewünschten Spektren liefert. Mit dieser Modulationstechnik erhält man jedoch auch Signale, die nicht von der Probe stammen. So zeigt das Auger-Elektronenspektrum eines KCl-Kristalls (Abb. 1a) zwei Peaks im Energiebereich 50 eV bis 100 eV, die als Eisen-Auger-Signale identifiziert werden konnten und vom ersten der Probe zugewandten Gitter (G4) herrühren. Auffällig ist die für Auger-Signale atypische Peakform, die ihre Ursache in der fehlenden Radialsymmetrie des elektrischen Feldes am Emissionsort dieser Elektronen haben kann.

Mit zunehmender Versuchsdauer an KCl-Kristallen führt die durch Elektronenbeschuß induzierte Emission von Chlor [6] unter anderem auch zu einer Belegung der Gitteroptik. Die Folge ist ein vom ersten Gitter herrührendes und mit der Zeit anwachsendes Cl-Auger-Signal, das das Spektrum der Probe überlagert und den negativen Teil des eigentlichen Proben-Chlor-Auger-Signals kompensiert (Abb. 1b). Eine zeitabhängige und quantitative Untersuchung ist dadurch unmöglich. Nimmt man das Spektrum mit einer Probenvorspannung von -60 V auf (Abb. 1c), erhält man die energetisch verschobenen Proben-Auger-Signale von Chlor und Kalium, sowie einen ortsfesten Peak, der das erwähnte Chlor-Auger-Signal vom ersten

Reprint requests to H. Brodersen or A. Pickuth, Institut für Angewandte Physik, Universität Hamburg, Jungiusstr. 11, D-2000 Hamburg 36.

0932-0784 / 87 / 0900-0935 \$ 01.30/0. – Please order a reprint rather than making your own copy.



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

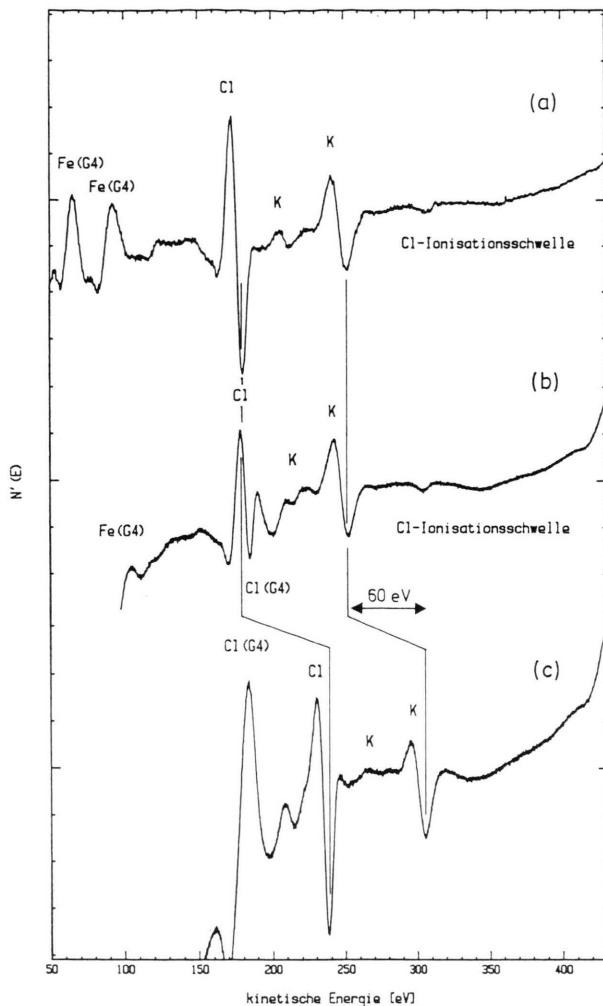


Abb. 1. Auger-Elektronen-Spektrum von KCl mit Bremsgitterpotentialmodulation bei 500 eV Primärenergie (Cl: 181 eV, K: 252 eV, Anregung des 2p-Niveaus mit 201 eV Energieverlust erscheint hier bei 299 eV).

(a) adsorbatfreie Gitteroptik mit Fe-Auger-Signal von G4. – (b) mit Chlor kontaminierte Gitteroptik. – (c) wie (b), jedoch mit –60 V Probenvorspannung.

Gitter darstellt. Für die Peakform gelten die obigen Argumente, die energetische Lage ist aber wegen der Peakform nicht eindeutig zu bestimmen.

Wenn man nun, statt eine statische Vorspannung an die Probe zu legen, die elektronische Differentiation über eine Wechselspannung an der Probe durchführt, wobei das Bremsgitter nur als statische Energieschwelle durchgefahren wird, so wird nur dem "charakteristischen" Elektronenstrom, also den Auger- und Sekundärelektronen

von der Probe, eine Energiemodulation aufgeprägt. Diese Elektronen durchlaufen den Raum zwischen Probe und dem ersten Gitter nur einmal, während die "gestreuten" Elektronen, d. h. elastisch rückgestreute Elektronen und solche, die Energieverluste erlitten haben, den Probenraum zweimal durchlaufen und danach keine Energiemodulation aufweisen. Ebenfalls zeigen Elektronen vom ersten Gitter, oder allgemeiner alle Elektronen, die nicht von der Probe herrühren, keine Energiemodulation.

In der Literatur [7] – [9] wird von einer Modulationstechnik berichtet, bei der durch eine Kathodenpotentialmodulation erreicht wird, daß das detektierte Signal auf elastisch gestreute Elektronen und solche mit charakteristischen Energieverlusten beschränkt bleibt. Sie wird als Ionisationsspektroskopie bezeichnet. Aufgezeigt wird in diesen Arbeiten auch eine "Quasi"-Probenpotentialmodulation, die durch synchrone Modulation von Bremsgitter- und Kathodenpotential erfolgt. Sie hat jedoch den Nachteil, daß nicht probenbezogene Signale – z. B. vom ersten Gitter – nicht unterdrückt werden. Theoretische Überlegungen fehlen in diesen Arbeiten und auch systematische Effekte im Zusammenhang mit dem verwendeten Hochpaßanalysator bleiben unerwähnt und sollen deshalb im folgenden behandelt werden.

Theoretische Überlegungen

Auf die Probe treffe der primäre Elektronenstrom I_0 mit der Energie $e(U_0 + u)$, wobei $-U_0$ das Potential der Kathode und u das Potential der Probe sei. Bei Anwendung der Probenpotentialmodulation wird

$$u = U_{\text{mod}} \sin 2\pi f t. \quad (1)$$

Der Kollektorstrom I des Gegenfeldanalysators ist proportional zu I_0 und eine Funktion von U_0 , u und U_{G3} , wobei $-U_{G3}$ das Potential des Bremsgitters G3 ist (s. a. Abb. 2).

$$I = I_0 F(U_{G3}, U_0, u). \quad (2)$$

Bei den Messungen wird der Wechselstromanteil von I als Funktion von U_{G3} registriert. Gemäß der Funktionsweise des Gegenfeldanalysators können nur die Elektronen einen Beitrag zu I leisten, welche (bei $U_{G4} = 0$) in den Analysator mit einer kinetischen Energie über $e \cdot U_{G3}$ eintreten, d. h. die

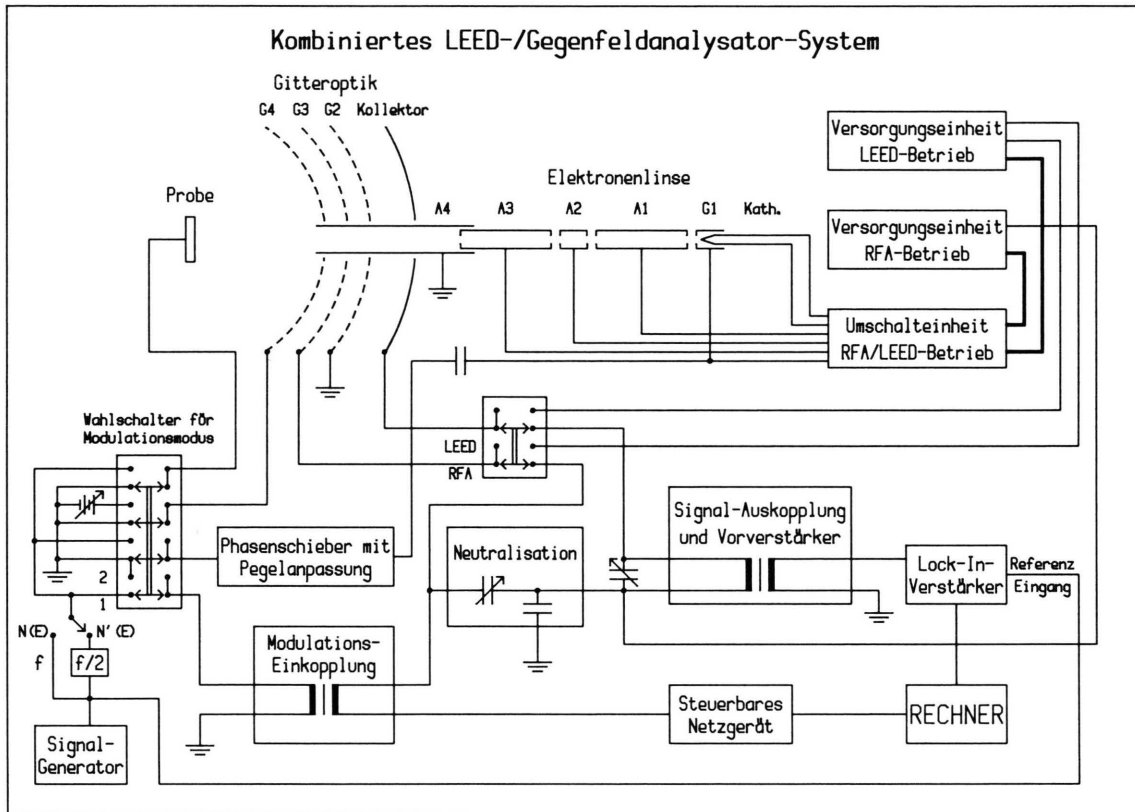


Abb. 2. Schematische Anordnung des kombinierten LEED-Gegenfeldanalysator-(RFA)Systems mit Blockschaltbild der Elektronik und Umschaltung LEED/RFA, sowie wahlweise Anwendung von Bremsgitter- (Schalterstellung 1) und Probenpotentialmodulation (Schalterstellung 2) im RFA-Modus.

Probe mit einer kinetischen Energie größer als $e(U_{G3} + u)$, verlassen.

Bei den von der Probe kommenden Elektronen unterscheiden wir "gestreute" und "charakteristische" Elektronen, da deren Energieverteilungen beim Eintritt in der Analysator in unterschiedlicher Weise vom Probenpotential u beeinflusst worden sind.

Die Energieverteilung der gestreuten Elektronen wird in ihrer Struktur im wesentlichen von den Energieverlusten bei den Streuprozessen bestimmt. Vernachlässigt man Laufzeiteffekte, so wird die typische Form der Energieverteilung durch das Probenpotential u nicht verändert, da die Änderung der Einschußenergie durch eine entsprechende Energieänderung auf dem Rückflug kompensiert wird. Die Modulation des Probenpotentials sollte also für den Streuanteil des Kollektorstromes kein Wechselstromsignal erzeugen.

Die charakteristischen Elektronen (Auger-Elektronen, Sekundärelektronen) haben beim Verlassen der Probe eine Energieverteilung, die in ihrer Form praktisch nicht von der Einschußenergie abhängt, sofern diese nur hinreichend weit über der Anregungsschwelle liegt. Beim Eintritt in den Analysator wird die Verteilung aber durch das Probenpotential um $e \cdot u$ verschoben. Für diesen Anteil der Elektronen wirkt daher die Modulation des Probenpotentials wie eine Modulation von U_{G3} und sollte im Kollektorstrom ein Wechselstromsignal erzeugen, das proportional zur Energieverteilung $N(E)$ an der Stelle $E = e U_{G3}$ ist.

Neben dem oben beschriebenen gewünschten Effekt hat die Änderung des Probenpotentials aber noch weitere Einflüsse auf den Kollektorstrom. Zum einen ändert sich der Strom durch die Abhängigkeit der Wirkungsquerschnitte für die Streuung der Primärelektronen und die Erzeugung der cha-

rakteristischen Elektronen von der Primärenergie. Andererseits beeinflußt das Probenpotential den effektiven Akzeptanzwinkel des Analysators, da der Raum zwischen Probe und Analysator nicht mehr feldfrei ist. Beide Einflüsse bewirken eine Intensitätsmodulation des Kollektorstromes, die weitgehend proportional zu seinem Gleichstromanteil ist. Diese störende Komponente des Kollektor-Wechselstromsignals kann jedoch durch gegenphasige Modulation des Primärstromes I_0 über die Spannung U_{G1} des Wehnelt-Zylinders kompensiert werden (s. a. Abbildung 2).

Die im folgenden beschriebenen Experimente zeigen, daß die Methode der Modulation des Probenpotentials in weitem Umfang die Abtrennung der gestreuten Elektronen aus dem Spektrum erlaubt. Darüber hinaus ist es, wie bei der üblichen Bremsgitterpotentialmodulation, möglich, durch Detektion des Wechselstromsignals mit der doppelten Modulationsfrequenz ein Signal zu erhalten, das proportional zur Ableitung der Energieverteilung der charakteristischen Elektronen ist ("Auger-Spektrum").

Experimentelle Ergebnisse

Eine schematische Darstellung des Spektrometers und seiner elektronischen Komponenten zeigt Abbildung 2. Sie stellt die schnelle Umschalteneinheit (< 2 sek) für die Spannungsversorgungen im LEED- und Auger-Betrieb dar [10], die einen direkten Vergleich zwischen LEED-Bildern und Auger-Spektren gestattet und zeigt die verschiedenen Möglichkeiten der Modulationstechniken auf.

Ein Vergleich der theoretischen Überlegungen mit den Experimenten soll anhand von Messungen an dünnen auf Molybdän aufgedampften Kohlenstoffschichten vorgenommen werden, da bei den Untersuchungen an KCl-Kristallen, auf die später noch eingegangen wird, durch die elektronenstoß-stimulierte Emission von Teilchen zusätzliche Effekte auftraten.

Die im folgenden gezeigten Spektren wurden bei einem Primärstrom von $5 \mu\text{A}$ unter sonst gleichen Bedingungen aufgenommen. Für die Auger-Spektren $N'(E)$ wurde eine Modulationsamplitude von 5 V und für Energieverteilungen $N(E)$ eine Amplitude von 1 V benutzt. Die Bezeichnungen Energieverteilung $N(E)$ sowie Auger-Spektrum oder Ableitung der Energieverteilung $N'(E)$ werden im fol-

genden beibehalten – gemeint ist dann das detektierte Wechselsignal mit der Modulationsfrequenz bzw. ihrer ersten Oberwelle –, obwohl im Falle der Probenpotentialmodulation diese Bezeichnungen im strengen Sinne nicht mehr richtig sind.

Messungen an Kohlenstoff

Die Messung der Energieverteilungen mit der Probenpotentialmodulation an Kohlenstoff (Kurven (b) in Abb. 3.1 und 3.2) zeigen den von der Theorie her als Störuntergrund erwarteten integra-

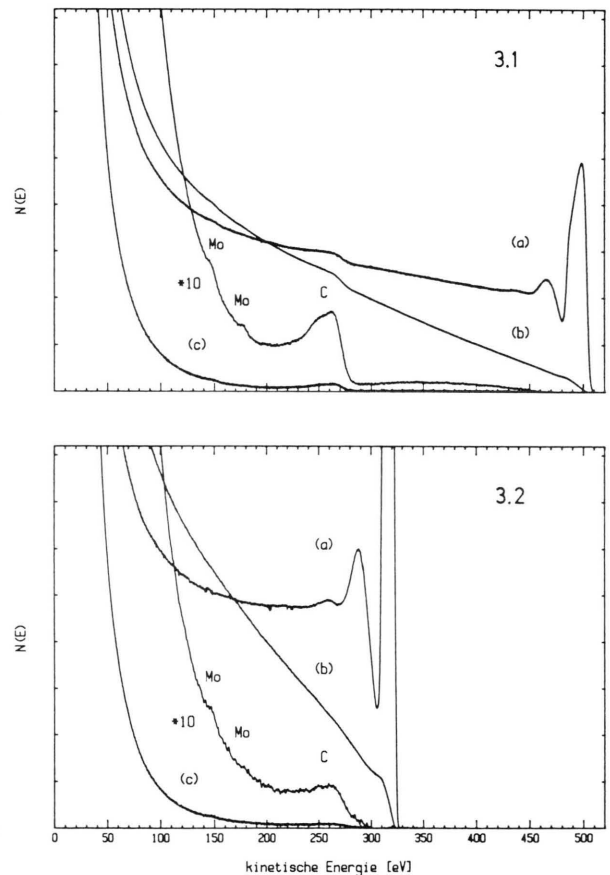


Abb. 3.1 u. 3.2. Energieverteilungsspektren von Kohlenstoff bei 500 eV und 320 eV Primärenergie (Kohlenstoff-Auger-Signal bei 272 eV und Molybdän-Signale von der Unterlage). – (a) Bremsgitterpotentialmodulation (Signale elastischer Reflexion und Energieverluste sind sichtbar und überlagern bei 320 eV den Kohlenstoff-Auger-Peak). – (b) Probenpotentialmodulation ohne Untergrundkompensation. – (c) Probenpotentialmodulation mit Untergrundkompensation durch gegenphasige Wehnelt-Zylinderpotentialmodulation (nur probencharakteristische Signale sind sichtbar).

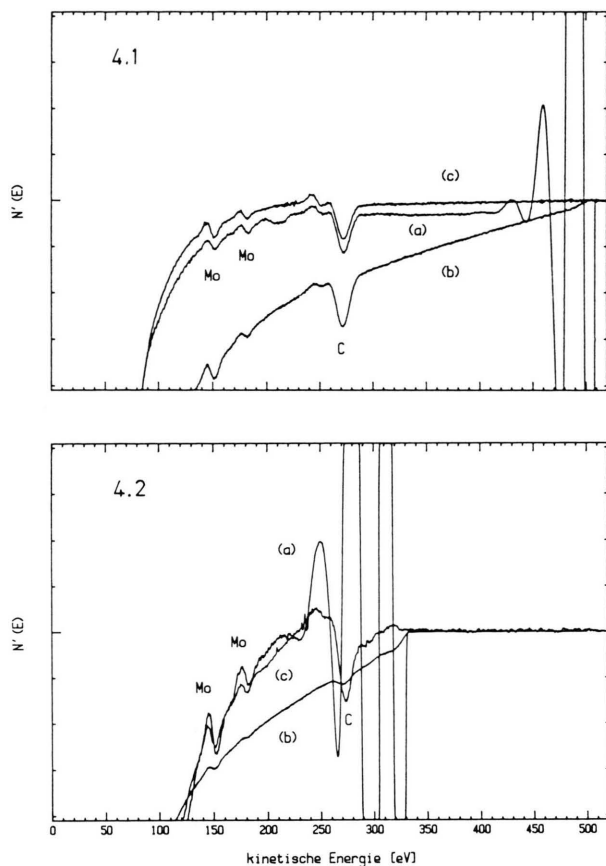


Abb. 4.1 u. 4.2. Auger-Elektronen-Spektren von Kohlenstoff bei 500 eV und 320 eV Primärenergie (Kohlenstoff-Auger-Signal bei 272 eV und Molybdän-Signale von der Unterlage). – (a) Bremsgitterpotentialmodulation (Signale elastischer Reflexion und Energieverluste sind sichtbar und überlagern bei 320 eV den Kohlenstoff-Auger-Peak). – (b) Probenpotentialmodulation ohne Untergrundkompensation. – (c) Probenpotentialmodulation mit Untergrundkompensation durch gegenphasige Wehnelt-Zylinderpotentialmodulation (nur probencharakteristische Signale sind sichtbar).

len Verlauf. Auch die gemessenen Auger-Spektren (Kurven (b) in Abb. 4.1 und 4.2) zeigen diesen integralen Untergrund.

Die Messungen mit der Probenmodulation bei verschiedenen Primärenergien (Abb. 5) ergeben eine starke Abnahme des Untergrundes mit steigender Primärenergie E_p .

Dieser Untergrund wäre bei der differenzierten Energieverteilung "tolerierbar", wenn E_p nicht zu niedrig ist. Mit den so durch Probenpotentialmodulation gewonnenen Energieverteilungen $N(E)$ dagegen läßt sich gegenüber der Bremsgitterpoten-

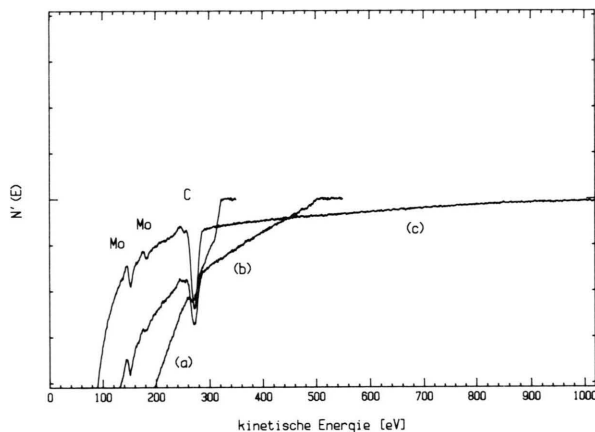


Abb. 5. Auger-Elektronen-Spektren von Kohlenstoff auf Molybdän mit Probenpotentialmodulation ohne Untergrundkompensation bei verschiedenen Primärenergien: (a) 320 eV, (b) 500 eV, (c) 1000 eV.

tialmodulation (Kurven (a) in Abb. 3.1 und 3.2) kein Informationsgewinn erzielen.

Durch die gleichzeitige gegenphasige Modulation am Wehneltzylinder G1 (einige 100 mV Modulationsamplitude) wird die oben beschriebene Kompensation des Untergrundes erreicht. Die Kurven (c) in den Abb. 3.1, 3.2, 4.1 und 4.2 zeigen die entsprechenden Meßkurven. Aufgrund der Energieabhängigkeit des Untergrundes ist jedoch die Kompensation nicht vollständig. Bemerkenswert ist aber die fast völlige Unterdrückung der gestreuten Elektronen im Bereich oberhalb $0.3 E_p$, so daß Auger-Elektronen auch mit kleinen Primärenergien wenig oberhalb der Anregungsschwelle nachweisbar sind.

Untersuchungen an KCl-Kristallen

Nachdem die prinzipiellen Eigenschaften der Probenpotentialmodulation erläutert sind, soll noch auf einige spezielle Effekte eingegangen werden, die bei unseren Untersuchungen an KCl-Kristallen aufgetreten sind.

Es zeigt sich in den $N'(E)$ -Spektren ein positiver Untergrund (Kurve (a) in Abb. 6), der von der Temperatur der Probe, Strahlfokussierung und von dem Grad der Kontamination der Gitteroptik durch Chlor abhängt. Während die Leitfähigkeit der KCl-Kristalle bei 600 K ausreichend groß ist, um Aufladungen zu verhindern (alle Spektren wur-

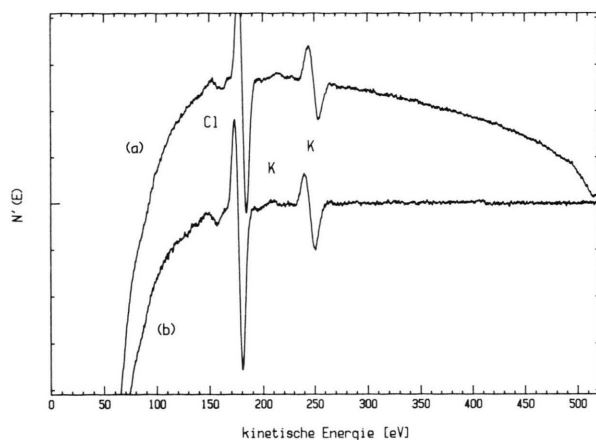


Abb. 6. Auger-Elektronen-Spektren von KCl mit Probenpotentialmodulation bei 500 eV Primärenergie. – (a) Gitter G4 auf Massepotential. – (b) positive Vorspannung am Gitter G4 und zusätzlich Untergrundkompensation durch gegenphasige Wehnelt-Zylinderpotentialmodulation.

den bei dieser Kristalltemperatur aufgenommen), scheint die Tatsache, daß bei KCl unter Elektronenbeschuß eine Emission von Neutralteilchen [6] und Ionen [11] – [13] zu beobachten ist, eine Rolle zu spielen. Die bei der Probenpotentialmodulation auftretende Modulation der Primärenergie führt zu einer Änderung der Emissionsraten für Neutralteilchen und Ionen. Da die Energie der emittierten Ionen mit einigen eV [13], [14] im Bereich der Modulationsamplitude liegt, erfahren der Ionenstrom und auch der Strom der Sekundärelektronen mit $E_{\text{kin}} < eU_{\text{mod}}$, die in die Gitteroptik gelangen, durch die im Vorzeichen wechselnde Potentialdifferenz zwischen Probe und dem ersten Gitter G4 eine nahezu vollständige Intensitätsmodulation.

Weil beim KCl der integrale Charakter des Untergrundes erhalten ist, und durch die erwähnten

probenspezifischen Eigenschaften nur Höhe und Vorzeichen verändert werden, kann man davon ausgehen, daß die intensitätsmodulierten Ionen- und/oder Elektronenströme auf die Probe zurückwirken. Der Mechanismus, über den dies geschieht, ist letztlich nicht geklärt. Da aber die Kontamination der Gitter mit Chlor (ein Kalium-Augersignal vom Gitter G4 konnte nicht nachgewiesen werden) den Untergrund entscheidend bestimmt, ist die Beteiligung einer Ionendesorption von Gitteradsorbaten denkbar. Diese kann durch Ionen- oder Elektronenbeschuß ausgelöst werden. Ebenso ist eine ionenstoßinduzierte Sekundärelektronenemission, die vorwiegend am Bremsgitter stattfinden würde, denkbar. Sowohl die Ionendesorption als auch die Sekundärelektronenemission lassen sich durch geeignete experimentelle Bedingungen verifizieren.

Der durch probenspezifische Eigenschaften veränderte Untergrund läßt sich unterdrücken, indem man an das Gitter G4 eine Vorspannung legt, die größer ist als die Summe aus Kontaktspannung und Modulationsamplitude. Es verbleibt der negative Untergrund, der oben durch systematische Effekte erklärt wurde. Er kann, wie zuvor beschrieben, durch Modulation des Wehneltzylinderpotentials kompensiert werden (Kurve (b) in Abbildung 6).

In unseren Experimenten an KCl-Kristallen hat der primäre Elektronenstrahl nicht nur auslösende Funktion für den Auger-Prozeß, sondern es soll auch seine Auswirkung auf die Probe (Stöchiometrie, Struktur usw.) untersucht werden. Die Vorteile der Probenpotentialmodulation, einen zu kleineren Energien erweiterten Primärenergiebereich nutzen zu können (Abb. 7) und das verbesserte Signal-Untergrund-Verhältnis, das schon im $N(E)$ -Betrieb – d. h. bei verkürzter Meßzeit – Spektren mit deutlichen Auger-Signalen (Abb. 8) liefert, erlauben, die Abhängigkeit von den Parametern Primärenergie E_p und Strahlstrom in einem größeren Bereich zu untersuchen.

Schlußfolgerungen

Unsere mit dem Gegenfeldanalysator und Probenpotentialmodulation durchgeführten elektro-nenspektroskopischen Untersuchungen zeigen, daß sich eine Reduzierung der Signal-Information

Tabelle 1.

Modulation von	Detektiertes Signal	nur Probensignale
Bremsgitter	S und C	nein
Kathode und Probe	S und C	ja
Probe	C	ja
Kathode und Bremsgitter	C	nein
Kathode	S	nein
Probe und Bremsgitter	S	ja

(S = „gestreute“ Elektronen, C = „charakteristische“ Elektronen)

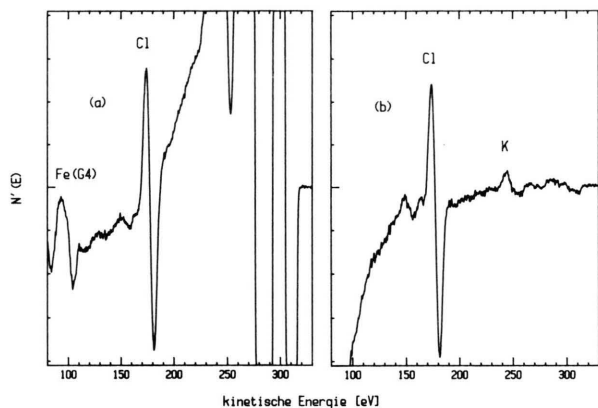


Abb. 7. Auger-Elektronen-Spektren von KCl bei 300 eV Primärenergie. — (a) Bremzgitterpotentialmodulation (Signale elastischer Reflektion und Energieverluste überlagern Auger-Signale). — (b) Probenpotentialmodulation mit positiver Vorspannung am Gitter G4 und zusätzlicher Untergrundkompensation durch gegenphasige Wehnelt-Zylindermodulation.

auf die charakteristischen Elektronen der Probe erreichen läßt. Ein Vergleich der Peakhöhen in den Auger-Spektren mit Probenpotentialmodulation und G3-Modulation zeigt Übereinstimmung der Nachweisempfindlichkeit im Rahmen von Reproduzierbarkeit und Fehlergrenzen. Für die Energieverteilungen $N(E, E_p)$ erhält man einen erheblichen Informationsgewinn, da gegenüber der G3-

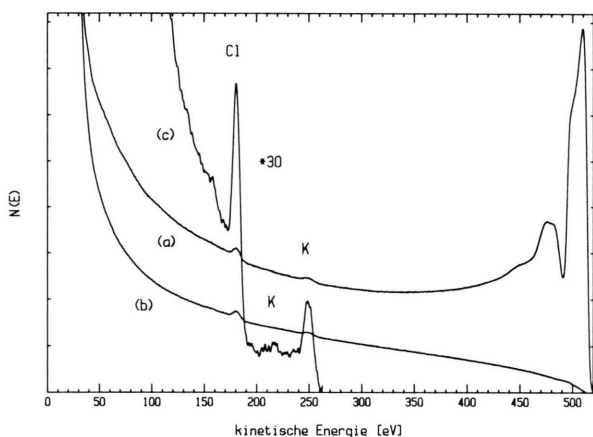


Abb. 8. Energieverteilungen von KCl bei 500 eV Primärenergie. (a) Bremzgitterpotentialmodulation. — (b) Probenpotentialmodulation ohne Untergrundkompensation. — (c) Probenpotentialmodulation mit Untergrundkompensation.

Modulationstechnik ein besseres Signal-Untergrund-Verhältnis erzielt wird (Kurven (a) und (c) in Abb. 3.1, 3.2 und 8). Außerdem hat man keine Probleme mit auf den Kollektor überkoppelnder Modulationsspannung, die bei einer Modulation der Bremzgitterspannung spezielle Neutralisationschaltungen erfordert. So ist es möglich, auch mehrere Gitter gemeinsam als Bremzgitter zu verwenden, um die Auflösung zu verbessern (z. B. 0.5% mit G2 und G3). Darüber hinaus eröffnet die Modulation des Probenpotentials die Möglichkeit der Spektroskopie von Auger-Elektronen mit Primärenergien wenig oberhalb ihrer Anregungsenergie, da keine störenden Signale der „gestreuten“ Elektronen vorhanden sind (Kurven (c) in Abb. 3.2 und 4.2, sowie Abb. 7), womit gleichzeitig eine Reduzierung der Strahlungsbelastung der Oberfläche verbunden ist.

Die Überlagerung der Spektren mit Signalen, die nicht von der Probe stammen, stellte bei unseren Messungen an KCl-Kristallen ein erhebliches Problem dar, das durch die Probenpotentialmodulation gelöst werden konnte. Für welche anderen Varianten der Modulationstechnik eine Unterdrückung solcher unerwünschter Signale stattfindet, zeigt die Tab. 1, in der alle Möglichkeiten elektronischer Differentiation und die damit detektierten Signale zusammengefaßt sind. Wenn für die Elektronenspektroskopie eine Modulationstechnik benutzt wird, die nur „charakteristische“ oder nur „gestreute“ Elektronen nachweist, erhält man in jedem Fall durch die prinzipiell damit verbundene Modulation der Primärenergie einen systematischen Untergrund, der allerdings vom verwendeten Analysortyp abhängt, und mit geringem Aufwand kompensiert werden kann. Diese Modulationstechniken sind natürlich nicht auf den Gegenfeldanalysator beschränkt, sondern sollten zusammen mit einem dispersiven Analysator, bei dem bereits die einmalige elektronische Differentiation $N'(E)$ ergibt — gemessen an den Auger-Peaks — auch einen wesentlich kleineren systematischen Untergrund liefern. Eine Anwendung der Probenpotentialmodulationstechnik ist auch denkbar, wenn die Anregung durch Photonen erfolgt und nur probenspezifische Signale detektiert werden sollen. Experimentelle Untersuchungen stehen in diesem Zusammenhang noch aus.

- [1] G. Ertl u. J. Küppers, *Low Energy Electrons and Surface Chemistry*, Verlag Chemie, Weinheim 1974.
- [2] M. Klaua u. G. Oertel, *Handbuch Festkörperanalyse mit Elektronen, Ionen und Röntgenstrahlen* (Hrsg. Otto Brümmer, Vieweg, Braunschweig 1980).
- [3] D. Briggs u. M. P. Seah, *Practical Surface Analysis by Auger X-ray Photoelectron Spectroscopy*, John Wiley, New York 1983.
- [4] M. Thompson, M. D. Baker, A. Cristie u. J. F. Tyson, *Auger Electron Spectroscopy, Series, Chemical Analysis*, **74** (1985).
- [5] C. Le Gressus, D. Massigon, u. R. Sopizet, *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 280, Serie B, 439 (14. April 1975).
- [6] A. Pickuth u. W. Legler, *Z. Naturforsch.* **41a**, 928 (1986).
- [7] R. L. Gerlach, J. E. Houston u. R. L. Park, *Appl. Phys. Letters* **16**, 179 (1970).
- [8] R. L. Gerlach u. A. R. Du Charmé, *Surface Sci.* **29**, 317 (1972).
- [9] D. K. Skinner u. R. R. Willis, *Rev. Sci. Instrum.* **43**, 731 (1972).
- [10] K. Rüddiger, *Diplomarbeit Hamburg* 1987.
- [11] A. Friedenberg and Y. Shapira, *J. Phys. C.; Solid State Phys.* **15**, 4763 (1982).
- [12] Y. Shapira, *Israel J. Chem.* **22**, 386 (1982).
- [13] T. R. Pian, M. M. Traum, J. S. Kraus u. N. H. Tolk, *Surf. Sci.* **128**, 13 (1983).
- [14] H. Overijnder, M. Szymonski, A. Haring u. A. E. de Vries, *Rad. Eff.* **36**, 63 (1978).