



Doctoral Thesis

Untersuchungen der Photoemission aus Europiumalkogeniden

Author(s):

Munz, Peter

Publication Date:

1974

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000084852> →

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 5374

Untersuchungen der Photoemission aus Europiumchalkogeniden

ABHANDLUNG

zur Erlangung

des Titels eines Doktors der Naturwissenschaften

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN

HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

PETER MUNZ

Dipl. Phys. ETH Zürich

geboren am 1. September 1941

von Donzhausen (Kt. Thurgau)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. G. Busch, Referent

Prof. Dr. H. C. Siegmann, Korreferent

aku-Fotodruck

Zürich

1974

5.4 Winkelabhängigkeit und Vektoreffekt der Photoemission aus EuO

Bisher wurden die meisten Untersuchungen der Photoemission bei senkrecht auf die Probe auffallendem Licht durchgeführt. Die Abhängigkeit vom Einfallswinkel*) und von der Polarisationsrichtung **) (siehe Gleichung (1)), ist nur in wenigen Arbeiten behandelt worden. Aus Messungen dieser Abhängigkeit kann einerseits Information über den Mechanismus der Photoemission an sich gewonnen werden (z. B. ergibt sich damit eine Möglichkeit den Volumeneffekt und den Oberflächeneffekt voneinander zu trennen¹⁵⁾, andererseits ist es in gewissen Fällen***) möglich auf diese Weise die Austrittstiefe der Photoelektronen zu bestimmen^{88,91)}.

Untersuchungen über den Mechanismus der Photoemission mit Hilfe der Winkelabhängigkeit und des Vektoreffektes wurden an definierten und reinen Oberflächen erstmals von Juenker und Mitarbeitern⁸⁹⁾ an Molybdän und von Broudy⁹⁰⁾ an Silizium durchgeführt. Diese und weitere Arbeiten wurden teilweise durch rein optische Effekte im Modell des Volumeneffektes⁹¹⁻⁹⁴⁾, durch Plasmonen^{95,96)} oder den Oberflächeneffekt^{97,100)}, erklärt. In verschiedenen Arbeiten konnten keine konsistenten Interpretationen gefunden werden^{89,90,98)}.

*)

Der Einfallswinkel ist definiert als Winkel zwischen der Fortpflanzungsrichtung des Lichtes und der Oberflächennormalen.

**)

Als Polarisationsrichtung gilt die Richtung des elektrischen Vektors.

***)

Eine Bestimmung der Austrittstiefe der Photoelektronen ist unter alleiniger Voraussetzung des Volumeneffektes möglich, falls eine günstige Beziehung zwischen den Grössen $\alpha(h\nu)$, l und n besteht.⁸⁷⁾

EuO zeigt einen unerwartet stark ausgeprägten Vektoreffekt wie er bis anhin an anderen Proben unseres Wissens noch nie beobachtet wurde. Figur 16 zeigt die Abhängigkeit der Photoströme vom Einfallswinkel des Lichtes, das parallel bzw. senkrecht zur Einfallsebene polarisiert ist, wobei die Photonenergie 1,96 eV beträgt, und der auf die Probe auffallende Lichtfluss konstant ist. Die beiden Ströme sind bezüglich des Photostromes bei senkrechtem Lichteinfall normiert. Während der Strom I_{\perp} bei Licht, dessen Schwingungsebene senkrecht zur Einfallsebene gerichtet ist, nur eine geringe Winkelabhängigkeit aufweist, wächst der Photostrom I_{\parallel} , wenn der elektrische Vektor in der Einfallsebene liegt stark an. Die Winkelabhängigkeit des Vektorverhältnisses, $I_{\parallel} / I_{\perp}$, wird folglich beinahe ausschliesslich durch die Winkelabhängigkeit von I_{\parallel} beherrscht. Werden die Ströme nicht auf die Intensität des auf die Probe auffallenden Lichtes, sondern auf die des eindringenden Lichtes bezogen, indem der Reflexionsverlust $1-R(h\nu, \alpha, p)$ berücksichtigt wird, so ändert das die Erscheinung des Vektoreffektes nur geringfügig (siehe Fig. 16). Im Folgenden sind deshalb alle Messresultate auf die Intensität des auffallenden Lichtes bezogen. Das Vektorverhältnis ist in Figur 17 für die Photonenergie $h\nu = 1,63$ eV in Funktion des Einfallswinkels*) aufgetragen.

Die Frequenzabhängigkeit des an EuO gemessenen Vektoreffektes zeigt ein gegenüber Messungen an anderen Substanzen abweichendes, stark selektives Verhalten. Diese Selektivität ist in Figur 18 ersichtlich**): das Vektorverhältnis wächst

*) Grössere Einfallswinkel als 45° lassen sich in der verwendeten Apparatur nicht mehr exakt messen. Die Messungen deuten aber darauf hin, dass auch oberhalb von 45° der Vektoreffekt mindestens in einem gewissen Winkelbereich noch anwächst.

**)

Abgesehen von der unterschiedlichen Schwellenenergie, d. h. wenn die Messresultate auf $h\nu - E_1$ bezogen werden, zeigen die dotierten und die nicht (absichtlich) dotierten Proben etwa denselben Vektoreffekt.

mit abnehmender Photonenergie in Richtung Schwellenenergie stetig an. Umgekehrt ist der Vektoreffekt oberhalb 2,8 eV schon beinahe abgeklungen.*) Ein starker Effekt tritt also nur in demjenigen Spektralbereich auf in dem vor allem Störzustände bei der Photoemission beteiligt sind.

In Figur 19 wird gezeigt, dass die in Abschnitt 5.1 gefundene Frequenzabhängigkeit der Quantenausbeute $Y = (h\nu - E_1)^3$ in der Nähe der Schwellenenergie bei schiefer Einstrahlung des Lichtes nur noch für Y_{\perp} gilt, d. h. für den Fall, dass das Licht senkrecht zur Einfallsebene polarisiert ist. Für diese Polarisationsrichtung ist die extrapolierte Schwelle unabhängig vom Einfallswinkel. Die Erscheinungen des Vektoreffektes an EuO bei niedrigen Photonenergien lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- a) Der Vektoreffekt entsteht dadurch, dass der Photostrom aufgrund des elektrischen Wechselfeldes in der Einfallsebene mit zunehmendem Einfallswinkel stark anwächst. Der Photostrom verursacht durch das elektrische Wechselfeld senkrecht zur Einfallsebene zeigt wenig Winkelabhängigkeit.
- b) Der Vektoreffekt ist selektiv und tritt im wesentlichen nur im Spektralbereich bis etwa 1 eV oberhalb der Schwellenenergie auf. Das Maximum des Effektes liegt, soweit messbar, bei der Schwellenenergie. Der Vektoreffekt an EuO zeigt in dieser, aber auch in anderer Hinsicht, z. B. was die Grösse des Vektorverhältnisses betrifft, ein gegenüber anderen Substanzen (88,89,92-99) wesentlich abweichendes Verhalten.

*)

Eine gewisse Unsicherheit, die sich vor allem bei der Messung kleiner Vektoreffekte bemerkbar macht kommt dadurch zustande, dass auch bei senkrechtem Lichteinfall, je nach Qualität der Spaltfläche, ein geringes Vektorerhältnis der Grösse 0,6 bis 1,0 auftritt.

- c) Bei schiefem Lichteinfall gilt das zur Bestimmung der Schwellenenergie in Halbleitern übliche Extrapolationsgesetz für EuO nicht mehr allgemein.
- d) An EuSe und EuTe kann, verglichen mit EuO, höchstens ein sehr schwacher Vektoreffekt beobachtet werden.

Es scheint, dass keine der bis heute für andere Substanzen vorgeschlagenen Interpretationen^{91-97,100} den Effekt an EuO zu erklären vermag. Gegen den Oberflächeneffekt als Ursache für den Vektoreffekt spricht die grosse Austrittstiefe der Elektronen bei den betreffenden Photonenergien (siehe 5.3) und die Tatsache dass der Vektoreffekt praktisch nur bei EuO und nicht bei den übrigen Chalkogeniden auftritt. Einer solchen Erklärung scheint auch die Beobachtung zu widersprechen, dass der Vektoreffekt an EuO nicht ausgeprägt oberflächenempfindlich ist*). Ein Vektoreffekt in Verbindung mit Plasmonen kann ausgeschlossen werden, weil die Plasmonenergie der Valenzelektronen wesentlich höher liegt als die hier betrachteten Photonenergien und die Plasmonenergien der freien Elektronen unserer dotierten Proben sich im Infraroten befinden⁴⁷). Für rein optische Effekte erscheint der gemessene Vektoreffekt zu gross und seine Frequenzabhängigkeit könnte damit kaum erklärt werden. Die Winkelabhängigkeit und der Vektoreffekt an EuO können hingegen mit einem, allerdings sehr einfachen, ad-hoc Modell, das auf dem Volumeneffekt basiert,

*)

An EuO, das mit einer Monoschicht Cs bedeckt ist, kann noch immer ein Vektoreffekt, allerdings von geringerer Stärke als an einer reinen Oberfläche, beobachtet werden. Broudy⁹⁰) hat hingegen an Si gefunden, dass eine geringe Bedeckung der Oberfläche mit Sauerstoff, die die Schwellenenergie noch nicht messbar beeinflusst, den Vektoreffekt schon zerstört.

wenigstens qualitativ erklärt werden¹⁰²⁾. Die wichtigste der diesem Modell zugrundeliegenden Annahme besteht darin, dass eine anisotrope innere Richtungsverteilung der angeregten Elektronen vorausgesetzt wird, deren Maximum in der Richtung des elektrischen Wechselfeldes liegt. Im Anhang wird dieses Modell beschrieben werden. Die daraus berechnete Winkel- und Frequenzabhängigkeit des Vektorverhältnisses, sowie der spektrale Verlauf der Quantenausbeute für verschiedene Ausbreitungsrichtungen des Lichtes sind in den Figuren 21, 22 und 23 dargestellt. Die zumindest qualitative, gute Uebereinstimmung ist angesichts der Primitivität des Modells besser als erwartet.

Wie im Anhang erwähnt wird, liefert die Tatsache, dass dieses Modell die Beobachtungen so gut zu erklären vermag einen zusätzlichen Hinweis dafür, dass es sich im betreffenden Spektralbereich um die Anregung lokalisierter Zustände handelt.