

# Über die positive Sekundärionenemission von Graphit, Kupfer und Gold bei Beschuß durch Edelgasionen mit Energien zwischen 100 und 30 000 eV

Von V. WALTHER und H. HINTENBERGER

Max-Planck-Institut für Chemie (Otto-Hahn-Institut), Mainz  
(Z. Naturforsch. 17 a, 1034—1035 [1962]; eingeg. am 2. Oktober 1962)

Die positive Sekundärionenemission bei Beschuß eines Targets mit Edelgasionen wurde wie folgt untersucht: In einer Elektronenstoßionenquelle wurden die Edelgasionen  $\text{He}^+$ ,  $\text{Ne}^+$ ,  $\text{Ar}^+$ ,  $\text{Kr}^+$  und  $\text{Xe}^+$  erzeugt. Ihre Voltgeschwindigkeit war stufenlos zwischen 100 und 30 000 eV veränderbar. Die Edelgasionen wurden durch eine elektrostatische Rohrlinse zu einem kleinen Brennfleck auf das Target fokussiert, so daß am Target Ionenstromdichten bis zu  $1,3 \cdot 10^{-5} \text{ A/cm}^2$  erreicht wurden. Das Targetmaterial in Form von Plättchen aus Graphit, Kupfer oder Gold konnte durch ein Öfchen auf über  $600^\circ\text{C}$  aufgeheizt werden. Um den primären Ionenstrom der auf das Target auftreffenden Ionen zu messen, wurde durch Hochziehen des Targets ein Auffänger an die Stelle des Brennflecks gebracht. Der Einfallswinkel der Edelgasionen betrug  $45^\circ$ . Die vom Target ausgehenden positiven Ionenströme wurden durch Auffänger gemessen, die unter den Austrittswinkeln  $0^\circ$  und  $45^\circ$  zur Targetnormalen angebracht waren. Primärstrahl, Targetnormale und Auffänger für die Sekundärströme waren stets in einer Ebene. Der Raum vor dem Target war feldfrei, so daß die vom Target ausgehenden Ionen in ihrer Laufrichtung unbeeinflusst blieben. Der Restgasdruck in der aus Edelstahl hergestellten Apparatur betrug  $2 \cdot 10^{-7}$  Torr.

Die Ausbeute an positiven Ionen wurde hier definiert als Quotient aus dem gesamten in einem Auffänger gemessenen Sekundärstrom und dem gemessenen Primärstrom. Der gesamte vom Target ausgehende Sekundärstrom setzt sich zusammen aus den eigentlichen Sekundärionen, die aus dem Targetmaterial stammen, aus den Ionen von Oberflächenverunreinigungen und aus den am Target reflektierten Edelgasionen. Da die reflektierten Ionen vorwiegend in einen Winkelbereich um  $45^\circ$  vom Target ausgehen, wird die Ausbeute, die unter dem Winkel  $0^\circ$  zur Targetnormalen gemessen ist, nur wenig von den reflektierten Ionen beeinflusst.

Untersucht wurde die Ausbeute von positiven Ionen in Abhängigkeit von Energie und Masse der Edelgasionen, vom Austrittswinkel, von der Bestrahlungszeit und der Targettemperatur. Abb. 1 zeigt als charakteristisches Beispiel die Ausbeutewerte an positiven Ionen als Funktion der Energie der Edelgasionen bei einem Gold-, Kupfer- und Graphittarget, jeweils gemessen bei  $20^\circ\text{C}$  unter dem Austrittswinkel  $0^\circ$ . Der geometrische Raumwinkel, unter dem die Sekundärströme vom Auffänger erfaßt wurden, betrug  $1,04 \cdot 10^{-2}$  sterad. Die Beschleunigungsspannung wurde kontinuierlich verändert. Der Übersichtlichkeit wegen sind in der Abbildung nur einige der Meßpunkte eingezeichnet.

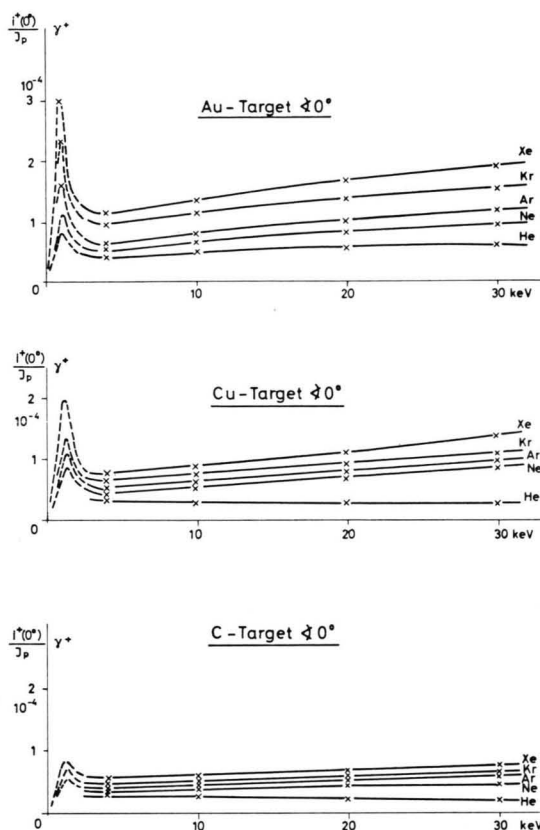


Abb. 1. Ausbeute an positiven Ionen in Abhängigkeit von der Energie der Edelgasionen bei einem Gold-, Kupfer- und Graphittarget.

Ab 4 keV steigt die Ausbeute für  $\text{Ne}^+$ ,  $\text{Ar}^+$ ,  $\text{Kr}^+$  und  $\text{Xe}^+$  stets langsam an. Der in Abb. 1 gezeigte Verlauf der Ausbeutewerte für positive Ionen läßt sich in dem Bereich zwischen 4 und 30 keV vergleichen mit dem Verlauf der aus der Literatur zu entnehmenden Zerstäubungsausbeuten. Bei den Zerstäubungsausbeuten werden die neutralen Teilchen mit den positiven und den negativen Ionen zusammen erfaßt. Der Vergleich bei entsprechenden Energien ergibt, daß etwa 1% des gesamten bei Ionenbeschuß zerstäubten Materials positiv geladen ist.

Ferner zeigt die Ausbeute an positiven Ionen unter dem Austrittswinkel  $0^\circ$  zur Targetnormalen einen eindeutigen Gang mit der Massenzahl der Edelgasionen: Die Ausbeute bei entsprechenden Energien liegt um so höher, je größer die Masse der Edelgasionen ist. Unter  $45^\circ$  liefert die elektrische Messung mit dem Auffänger nicht diese systematische Massenabhängigkeit der Ausbeute, da unter diesem Winkel sehr viele reflektierte Edelgasionen in den Auffänger gelangen. Untersucht man jedoch mit einem Parabelspektrographen das Massenspektrum der vom Target ausgehenden Ionen<sup>1</sup>, so

<sup>1</sup> V. WALTHER u. H. HINTENBERGER, Z. Naturforsch. 17 a, 694 [1962].



erkennt man auch unter  $45^\circ$  die Massenabhängigkeit der Ausbeute, da im Parabelspektrographen die eigentlichen Sekundärionen und die Ionen von Oberflächenverunreinigungen von den reflektierten Ionen getrennt werden.

Die Ausbeutekurven zeigen zwischen 1 und 2 keV ein Maximum, dessen absolute Höhe stark von der Vorbehandlung des Targetmaterials, der Bestrahlungszeit und der Targettemperatur abhängt. Das Maximum ist im allgemeinen am stärksten bei Gold, weniger stark bei Kupfer und in der Regel am schwächsten bei Graphit ausgeprägt. Ferner ist das Maximum für  $\text{Xe}^+$  und  $\text{Kr}^+$  stärker als für  $\text{Ne}^+$  und  $\text{He}^+$ . Das Maximum liegt stets bei  $(1,6 \pm 0,4) \text{ keV}$ . Innerhalb dieser Fehlergrenzen konnte bei den bisherigen Untersuchungen kein Einfluß des Targetmaterials, der Masse der aufgeschos-

senen Edelgasionen, der Größe des Primärstromes oder des Restgasdruckes in der Apparatur festgestellt werden. Abb. 2 zeigt als Beispiel das Maximum nach verschieden langer Bestrahlungszeit für  $\text{Ar}^+$  auf Kupfer bei  $20^\circ\text{C}$  und bei  $500^\circ\text{C}$ .

Das Verhalten des Maximums in den bisherigen Versuchen bei verschieden langer Bestrahlungsdauer und bei verschiedenen Targettemperaturen sowie der Vergleich zweier Spektren, die mit dem Parabelspektrographen bei Primärenergien von 1,6 und 15 keV für  $\text{Kr}^+$  auf Gold aufgenommen wurden, läßt vermuten, daß das Maximum den am Target adsorbierten Oberflächenschichten zuzuschreiben ist.

Abb. 3 und 4 zeigen zwei typische Beispiele für die Ausbeute bei einer bestimmten Energie der Edelgasionen in Abhängigkeit von der Bestrahlungszeit und der Targettemperatur. Man erkennt, daß sich erst nach längerer Bestrahlung mit Ionen oder nach dem Ausheizen des Targets konstante Ausbeutewerte einstellen, die immer wieder, auch nach Monaten, innerhalb 20% reproduzierbar sind.

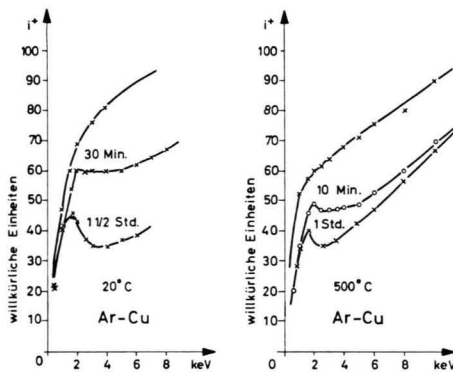


Abb. 2. Das Maximum nach verschieden langer Bestrahlungszeit für  $\text{Ar}^+$  auf Kupfer bei  $20^\circ\text{C}$  und bei  $500^\circ\text{C}$ . (Zunächst bei einer zuvor unbestrahlten Oberfläche, dann nach den angegebenen Bestrahlungszeiten.)

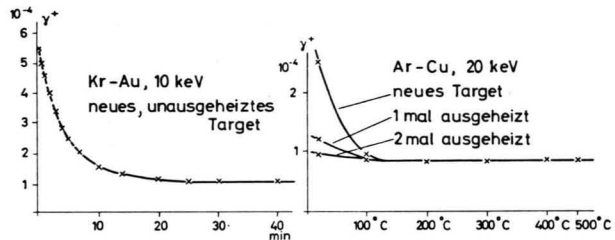


Abb. 3

Abb. 4

Abb. 3 und Abb. 4. Die Ausbeute in Abhängigkeit von der Bestrahlungszeit bzw. der Targettemperatur bei fester Primärenergie.