

Reflexion von Clusterstrahlen an einem Echelettegitter

H. Mayer

Institut für Kernverfahrenstechnik,
Kernforschungszentrum Karlsruhe

(Z. Naturforsch. **28a**, 1733–1734 [1973]; eingegangen am 11. August 1973)

Reflection of Cluster Beams on an Echelette Grating

Nitrogen cluster beams are reflected from an Echelette grating to investigate the influence of the surface structure on the reflection characteristics. If the mean cluster diameter is greater than the effective grating constant the same flux distribution is found as for a polished reflector. However, the flux distribution clearly spreads out in the plane of incidence if the cluster diameter becomes almost equal to the effective grating constant.

Clusterstrahlen lassen sich durch Überschallexpansion eines Gases aus einer Düse und nachfolgendem Überführen des Strahlkerns ins Hochvakuum erzeugen^{1,2}. Sie sollen bei der Brennstoffnachfüllung in Fusionsanordnungen Verwendung finden³. In diesem Zusammenhang sowie in der Grundlagenforschung interessiert ihr Verhalten beim Auftreten auf feste Oberflächen. In früheren Arbeiten^{4,5} wurde gezeigt, daß sich Clusterstrahlen an polierten Metalloberflächen reflektieren lassen, wobei auch der reflektierte Strahl im wesentlichen aus Agglomeraten besteht. Bei Stickstoff-Clusterstrahlen liegt das Maximum der reflektierten Stromdichte unabhängig vom Einfallswinkel bei annähernd 90° ; d. h., die Cluster verlassen den Reflektor fast tangential. Versuche mit verschiedenen Reflektoren ergaben, daß die Winkelverteilung der Stromdichte („Stromdichteprofil“) von der Oberflächenbeschaffenheit des Reflektors abhängt.

Der Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit wird bei den vorliegenden Experimenten mit einem Reflektor definierter Oberflächenstruktur untersucht. Dazu wird ein eng geritztes Reflexionsgitter mit stufenförmiger Struktur („Echelettegitter“) benutzt. Variiert man die mittlere Agglomeratgröße des Clusterstrahls, so zeigt sich eine deutliche Änderung der Reflexionseigenschaften, wenn der Clusterdurchmesser etwa gleich der für den Strahl sichtbaren „effektiven“ Gitterkonstante wird. Man erhält das gleiche Stromdichteprofil wie mit einem polierten Reflektor, solange der Clusterdurchmesser größer als die effektive Gitterkonstante ist. Wird der Clusterdurchmesser etwa gleich der Gitterkonstante, so zeigt sich eine deutliche Aufweitung des Stromdichteprofils in der Einfallsebene, die von einem Absinken der maximalen Stromdichte begleitet ist. Der zur maximalen Stromdichte gehörige „häufigste“ Re-

flexionswinkel verschiebt sich dabei zu kleineren Werten, so daß die „Anschmiegeung“ des Strahls an den Reflektor weniger ausgeprägt wird.

1. Versuchsanordnung

Der Versuchsaufbau ist schematisch in Abb. 1 dargestellt. Er besteht aus dem Strahlerzeugungssystem, dem Echelettegitter als Reflektor und einer Ionisa-

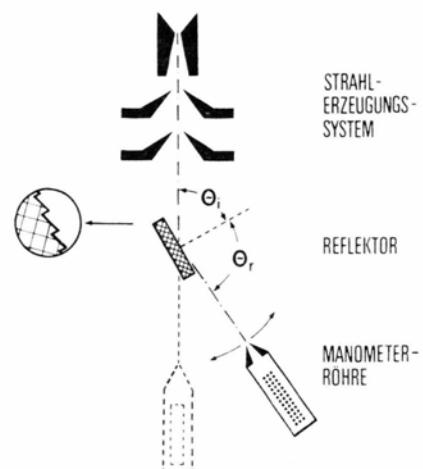


Abb. 1. Schematische Darstellung der Versuchsanordnung. Die Ausschnittvergrößerung (links) zeigt die charakteristische Stufenstruktur des Echelettegitters.

tionsmanometerröhre zur Stromdichtemessung. Eine ausführliche Beschreibung der experimentellen Anordnung findet sich in einer früheren Arbeit⁶. Wie üblich, werden Einfalls- und Reflexionswinkel gegen das Flächenlot gemessen und die Einfallsebene durch Strahlachse und Flächenlot aufgespannt.

Als Strahlgas wird ein Stickstoff-Wasserstoff-Gemisch mit einem Stickstoff-Anteil von 20 Mol-% verwendet. Durch den Wasserstoffzusatz wird die Stromdichte des Stickstoffclusterstrahls wesentlich erhöht². Die Düse ist eine Kegeldüse mit 1 mm engstem Durchmesser, einem Öffnungswinkel von 10° und einer Länge des divergenten Teils von 10 mm. Die Düse ist mit einem Kühlbad aus flüssigem Stickstoff unter Atmosphärendruck wärmeleitend verbunden. Durch Verändern des Einlaßdrucks vor der Düse kann die mittlere Clustergröße zwischen $2,6 \cdot 10^5$ und $1,6 \cdot 10^7$ Moleküle/Cluster variiert werden⁷.

Das Echelettegitter (Bausch & Lomb) hat eine Gitterkonstante von $g_0 = 0,28 \mu\text{m}$, die Größe der geritzten Fläche ist $2,6 \times 2,6 \text{ cm}^2$. Die Ausschnittvergrößerung (Abb. 1, links) zeigt die charakteristische Stufenstruktur des Gitters. Der „Blazewinkel“, der die Steigung der Stufen angibt, beträgt $13^\circ 26'$. Es wird ein konstanter Einfallswinkel $\Theta_i = 80^\circ$ ein-

gestellt, dem eine effektive Gitterkonstante $g = g_0 \cdot \cos \Theta_1 = 0,048 \mu\text{m}$ entspricht.

Die Stromdichte wird in bekannter Weise⁸ nach einer Druckstaumethode gemessen. Dazu wird eine modifizierte Ionisations-Manometerröhre verwendet, die an ihrer dem Strahl zugewandten Seite eine blendenförmige Öffnung hat. Der Abstand der Öffnung vom Schnittpunkt der Strahlachse mit der Reflektoroberfläche ist 8,1 cm. Zur Aufnahme des Stromdichteprofils wird die Röhre um diesen Schnittpunkt in der Einfallsebene geschwenkt (wie in Abb. 1 durch die Pfeile angedeutet).

Für Messungen am einfallenden Strahl wird der Reflektor aus dem Bereich des Clusterstrahls herausgefahren und die Röhre in die gestrichelt gezeichnete Position gebracht. Die mittlere Clustergröße des einfallenden Strahls wird nach dem Ziehfeld-Laufzeit-Verfahren⁹ ermittelt, wobei anstelle der Manometerröhre ein Massenanalysator tritt. Dabei wird die Geschwindigkeit der Cluster durch eine Laufzeit-

messung bestimmt. Werden die Cluster ionisiert und in der Ausbreitungsrichtung elektrisch beschleunigt, erhält man gegenüber der Messung ohne elektrisches Ziehfeld eine massenabhängige Verkürzung der Laufzeit.

2. Experimentelle Ergebnisse

Der mittlere Clusterdurchmesser d ist unter der Annahme kugelförmiger kristalliner Cluster berechnet und auf die effektive Gitterkonstante g bezogen. In Abb. 2 a ist die maximale Stromdichte des reflektierten Strahls j_r bezogen auf die des einfallenden Strahls j_i über d/g aufgetragen. Abbildung 2 b zeigt die Halbwertsbreite des Stromdichteprofils H_r und den häufigsten Reflexionswinkel Θ_r^* jeweils in Abhängigkeit von d/g .

Auffallend bei allen drei Kurven ist der fast sprungartige Verlauf für $d \approx g$. Für $d > g$ werden j_r/j_i , H_r und Θ_r^* konstant und sind in Übereinstimmung mit früheren⁴⁻⁶ Stromdichtemessungen an polierten Reflektoren (Carl Zeiss).

3. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, daß die Reflexionseigenschaften durch die Oberflächenrauhigkeit des Reflektors nicht beeinflußt werden sollten, solange die Störstellenausdehnung klein gegen den mittleren Clusterdurchmesser ist. Bei Verwendung von optischen Reflektoren, deren Rauhtiefe fast eine Größenordnung kleiner als die Gitterkonstante des benutzten Echelettegitters ist, ist bei den vorliegenden Clustergrößen ein Einfluß der Oberflächenrauhigkeit nicht zu erwarten.

Die fast sprungartige Änderung des Stromdichteprofils für $d \approx g$ eröffnet die Möglichkeit, die Reflexion am Echelettegitter zur Bestimmung von Clustergrößen zu verwenden. Es ist zu prüfen, ob sich mit Clusterstrahlen bekannter Agglomeratgröße mikroskopische Rauhigkeiten polierter Oberflächen untersuchen lassen.

Ich danke Herrn Prof. Dr. E. W. Becker für die Anregung und Förderung dieser Arbeit.

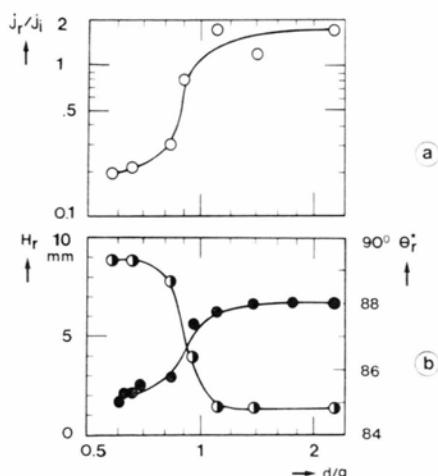


Abb. 2. a) Verhältnis der maximalen Stromdichte des reflektierten Strahls zu der des einfallenden Strahls j_r/j_i , b) Halbwertsbreite des reflektierten Stromdichteprofils H_r (○) sowie häufigster Reflexionswinkel Θ_r^* (●) jeweils in Abhängigkeit vom Verhältnis mittlerer Clusterdurchmesser d zu effektiver Gitterkonstante g .

¹ E. W. Becker, K. Bier u. W. Henkes, Z. Phys. **146**, 333 [1959].

² E. W. Becker, R. Klingelhöfer u. P. Lohse, Z. Naturforsch. **17a**, 432 [1962].

³ E. W. Becker, R. Klingelhöfer u. P. Lohse, Z. Naturforsch. **15a**, 644 [1960].

⁴ E. W. Becker, R. Klingelhöfer u. H. Mayer, Z. Naturforsch. **23a**, 274 [1968].

⁵ E. W. Becker, R. Klingelhöfer u. H. Mayer, 6th Int. Symposium on Rarefied Gas Dynamics **2**, 1349 [1969].

⁶ H. Mayer, Dissertation, Karlsruhe 1972.

⁷ O. F. Hagena u. W. Obert, J. Chem. Phys. **56**, 1793 [1972].

⁸ R. Klingelhöfer u. H. Röhl, Z. Naturforsch. **25a**, 402 [1970].

⁹ J. Gspann u. K. Körting, J. Chem. Phys. (in Druck).