

CEA 1569 - CASSIGNOL C., RANC G.

Sur le caractère non linéaire en fonction de l'intensité de la pulvérisation cathodique à haute énergie et sa variation en fonction de la température (1960).

Sommaire. — On présente, au sujet de la pulvérisation cathodique à haute énergie, une théorie qui tient compte de la non-linéarité de la variation de ce phénomène avec la densité des ions incidents. Cette théorie permet de prédire l'influence de la température de la cible sur la vitesse de pulvérisation cathodique. On démontre l'existence de cette influence par une méthode expérimentale.

CEA 1569 - CASSIGNOL C., RANC G.

On the non-linear nature of the variation ,with intensity, of high energy cathode sputtering, and the variation of the latter with temperature (1960).

Summary. — A new cathode sputtering theory at high energy is presented which has been elaborated in taking in account the non-linearity of this phenomenon with the density of the impinging ions. This theory allows to predict the influence of target temperature on the rate of cathode sputtering. This influence is experimentally demonstrated.

REPRINTED FROM
PROCEEDINGS
OF THE
FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON
**IONIZATION PHENOMENA
IN GASES**

(UPPSALA 17—21 AUGUST 1959)

EDITED BY
N. ROBERT NILSSON
Institute of Physics, Uppsala



1960

NORTH-HOLLAND PUBLISHING COMPANY - AMSTERDAM

SUR LE CARACTÈRE NON LINÉAIRE EN FONCTION DE L'INTENSITÉ DE LA PULVÉRISATION CATHODIQUE À HAUTE ÉNERGIE ET SA VARIATION EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

C. Cassignol et G. Ranc

C.E.N. Saclay, B.P. 2, Gif-sur-Yvette (S.O.), France

Abstract: A new cathode sputtering theory at high energy is presented which has been elaborated in taking in account the non-linearity of this phenomenon with the density of the impinging ions. This theory allows to predict the influence of target temperature on the rate of cathode sputtering. This influence is experimentally demonstrated.

Les observations les plus nombreuses de pulvérisation cathodique à haute énergie ont lieu lors de la collection d'isotopes enrichis dans les séparateurs électromagnétiques. L'énergie des ions positifs est comprise entre 20 et 50 keV. La nature des ions incidents, le matériau du collecteur-cible et la densité des faisceaux sont essentiellement variables. Dans la plupart des cas, le faisceau incident provoque une érosion caractéristique de la cible. Les isotopes se déposent seulement sur les parois masquées par rapport à l'impact direct, mélangés à une certaine quantité du matériau de la cible.

Cependant, des exceptions à cette règle générale sont signalées dans la bibliographie spécialisée¹. Un cas particulier que nous avons observé nous-mêmes est celui de faisceaux d'ions de magnésium irradiant des cibles de cuivre ou de tantale maintenues à la température ambiante. L'incidence des ions étant normale, aucune érosion de la cible et aucun rebondissement ne sont décelables. Le dépôt a lieu à l'endroit de l'impact direct et il semble quantitatif.

Les théories existantes ne sont pas satisfaisantes^{2,3}. Faisant appel à des mécanismes d'interaction à l'échelle microscopique entre les particules incidentes et les atomes de la cible, elles impliquent le caractère de linéarité en fonction de l'intensité ou de la densité des faisceaux incidents. Aucune influence de la température n'est signalée en dehors de phénomènes distincts de la pulvérisation cathodique (vaporisation d'isotopes volatils ou diffusion dans la masse du collecteur). Elles n'expliquent pas le cas particulier signalé ci-dessus.

Nous proposons une théorie très différente dont le mécanisme général est le suivant: les ions incidents pénètrent d'une certaine profondeur dans le réseau cristallin de la cible. Sur leur parcours, où ils subissent un ralentissement progressif, les ions endommagent la structure cristalline.

L'état du réseau dépend de la vitesse de création du dommage donc de la densité du courant incident et de la vitesse de restitution du réseau qui dépend de la température de la cible.

La pulvérisation cathodique se produit à partir du réseau endommagé: il ne s'agit donc pas d'un phénomène instantané.

Lorsque le régime d'équilibre est atteint, le taux de pulvérisation cathodique (rapport du nombre d'atomes pulvérisés au nombre d'ions incidents) dépend directement de l'état de fatigue du réseau. Si la densité de courant d'ions incidents est faible, les dommages créés

par le bombardement ionique ont le temps d'être réparés par l'agitation thermique entre deux chocs consécutifs au même endroit. Les atomes de la cible restent alors solidement liés entre eux. Le taux de vaporisation cathodique est faible. Un dépôt pourra se former. L'inverse se produit quand la densité de courant est forte.

Suivant cette proposition, les grandeurs physiques considérées comme capitales dans ce domaine (rapport des masses en particulier) perdent tout intérêt.

Les conséquences de cette théorie sommaire ont été vérifiées par deux expériences, l'une faisant intervenir la densité de courant du faisceau d'ions incidents et l'autre la température de la cible.

Une plaque de cuivre était exposée, sous l'incidence normale, au bombardement d'un faisceau d'ions de cadmium d'énergie 30 keV médiocrement focalisé. On constate (Fig. 1) l'érosion caractéristique dans les régions de plus forte densité. Au contraire, dans les régions de faible densité, l'état de surface initial est conservé et il se forme un dépôt de cadmium reconnaissable à sa couleur. Le contour de ce dépôt exclut sa formation à partir d'atomes d'énergie thermique. On voit que le taux de pulvérisation cathodique (rapport du nombre d'atomes pulvérisés au nombre d'ions incidents) n'est pas indépendant de la densité ionique (il est supérieur à l'unité dans les régions de forte densité et inférieur à l'unité dans les régions de faible densité).

Dans la deuxième expérience, la cible était constituée par une surface de cuivre, dans une direction de laquelle a été réalisé un gradient de température constant. Les températures extrêmes étaient 15 et 240°C. Un faisceau d'ions de cadmium, de 30 keV d'énergie, était balayé linéairement devant la cible ($f = 0.2$ Hz), afin de réaliser une densité moyenne de courant constante sur toute la surface. La cible était disposée perpendiculairement aux ions incidents. La densité moyenne de courant était de $70 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. La densité superficielle du cadmium, calculée pour un rendement unité de la cible, aurait été, compte tenu de la durée de l'expérience (6 h), de l'ordre de $150 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, correspondant à une épaisseur de 0.2μ environ.

A la fin de l'expérience, le côté refroidi de la cible (Fig. 2; partie gauche) présente la coloration du cuivre et l'aspect typique rugueux dû à la vaporisation cathodique, sans la moindre trace de dépôt de cadmium. Au fur et à mesure qu'on s'éloigne du côté refroidi, les traces laissées par la vaporisation cathodique s'estompent et font place à un dépôt de cadmium dont l'épaisseur croît (Fig. 2; partie droite).

Ces expériences semblent donc confirmer le schéma présenté. Mais l'élaboration d'une théorie complète nécessite une étude expérimentale plus approfondie.

Bibliographie

- ¹ M. L. Smith, Electromagnetically enriched isotopes and mass spectrometry (Butterworths Sc. Publ., 1956) p. 53
- ² D. T. Goldman et A. Simon, Phys. Rev. 111 (1958) 383
- ³ F. Seitz et J. S. Koehler, Solid State Physics, édité par F. Seitz et D. Turnbull (Academic Press Inc., N. Y., 1956) p. 321

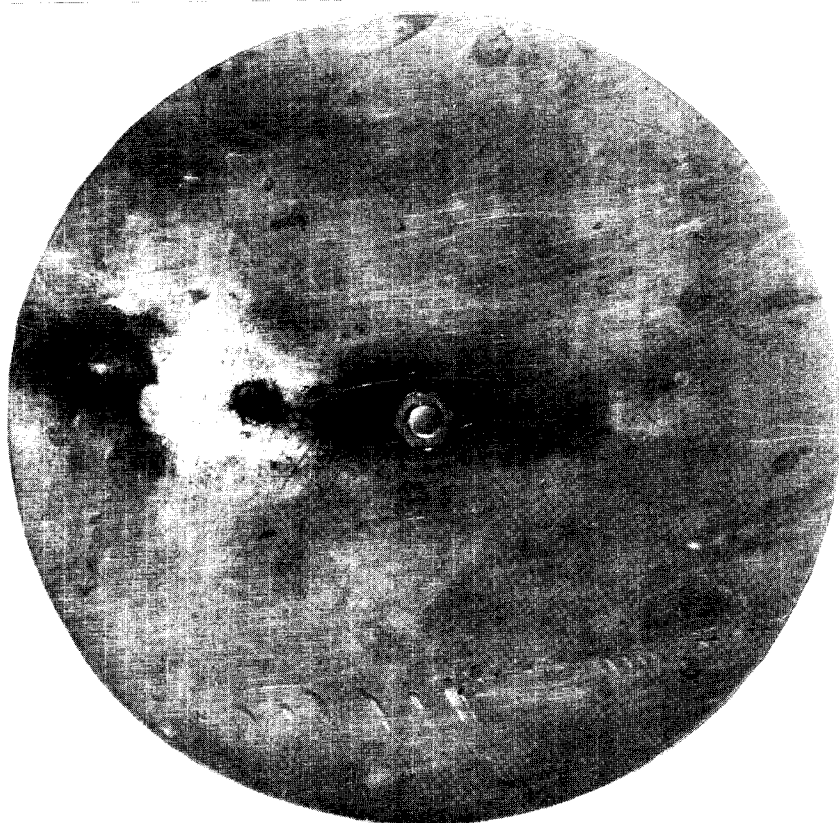


Fig. 1

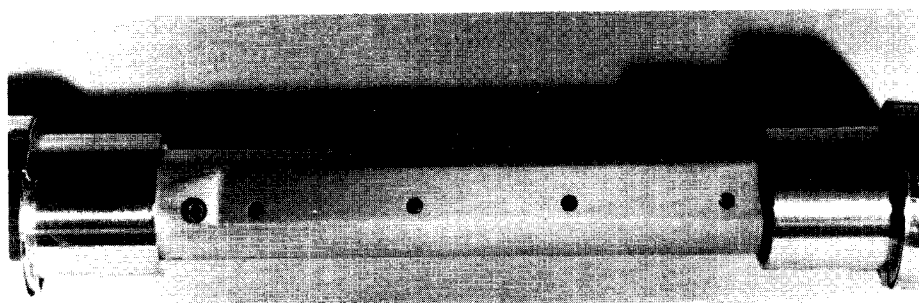


Fig. 2

SERIES IN PHYSICS

General Editors:

J. DE BOER, Professor of Physics, University of Amsterdam
H. BRINKMAN, Professor of Physics, University of Groningen
H. B. G. CASIMIR, Director of the Philips' Laboratories, Eindhoven

Monographs:

H. C. BRINKMAN, Applications of Spinor Invariants in Atomic Physics
S. R. DE GROOT, Thermodynamics of Irreversible Processes
E. A. GUGGENHEIM, Thermodynamics
E. A. GUGGENHEIM, Boltzmann's Distribution Law
E. A. GUGGENHEIM and J. E. PRUE, Physico-chemical Calculations
H. A. KRAMERS, Quantum Mechanics
H. A. KRAMERS, The Foundations of Quantum Theory
J. MCCONNELL, Quantum Particle Dynamics
J. G. LINHART, Plasma Physics
A. MERCIER, Analytical and Canonical Formalism in Physics
I. PRIGOGINE, The Molecular Theory of Solutions
E. G. RICHARDSON, Relaxation Spectrometry
P. ROMAN, Theory of Elementary Particles
M. E. ROSE, Internal Conversion Coefficients
L. ROSENFELD, Theory of Electrons
J. L. SYNGE, Relativity: The Special Theory
J. L. SYNGE, The Relativistic Gas
H. UMEZAWA, Quantum Field Theory
VAŠÍČEK, Optics of Thin Films
A. H. WAPSTRA, G. J. NIJH and R. VAN LIESHOUT, Nuclear Spectroscopy Tables

Edited Volumes:

J. BOUMAN (editor), Selected Topics in X-Ray Crystallography
J. M. BURGERS and H. C. VAN DE HULST (editors), Gas Dynamics of Cosmic Clouds. A Symposium
P. M. ENDT and M. DEMEUR (editors), Nuclear Reactions, Vol. I
C. J. GORTER (editor), Progress in Low Temperature Physics, Volumes I-II
G. L. DE HAAS-LORENTZ (editor), H. A. Lorentz, Impressions of his Life and Work
J. KISTEMAKER, J. BIGEISEN and A. O. C. NIER (editors), Proceedings of the International Symposium on Isotope Separation
J. KOCH (editor), Electromagnetic Isotope Separators and Applications of Electromagnetically Enriched Isotopes
Z. KOPAL (editor), Astronomical Optics and Related Subjects
H. J. LIPKIN (editor), Proceedings of the Rehovoth Conference on Nuclear Structure
N. R. NILSSON (editor), Proceedings of the Fourth International Conference on Ionization Phenomena in Gases. Uppsala, 1959
K. SIEGBAHN (editor), Beta- and Gamma-Ray Spectroscopy
SYMPOSIUM ON SOLID STATE DIFFUSION (Colloque sur la diffusion à l'état solide). Saclay, July 1958
TURNING POINTS IN PHYSICS. A Series of Lectures given at Oxford University in Trinity Term 1958
J. G. WILSON and S. A. WOUTHUYSEN (editors), Progress in Elementary Particle and Cosmic Ray Physics. Vol. I-V
P. EHRENFEST, Collected Scientific Papers
H. A. KRAMERS, Collected Papers