



HAL
open science

Influence des contraintes mécaniques sur l'émission photoélectrique des substances métalliques polycristallines

René Bernard, Clément Guillaud, Robert Goutte

► **To cite this version:**

René Bernard, Clément Guillaud, Robert Goutte. Influence des contraintes mécaniques sur l'émission photoélectrique des substances métalliques polycristallines. *Journal de Physique et le Radium*, 1956, 17 (10), pp.866-871. 10.1051/jphysrad:019560017010086600 . jpa-00235569

HAL Id: jpa-00235569

<https://hal.science/jpa-00235569>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INFLUENCE DES CONTRAINTES MÉCANIQUES SUR L'ÉMISSION PHOTOÉLECTRIQUE DES SUBSTANCES MÉTALLIQUES POLYCRISTALLINES

Par MM. RENÉ BERNARD, CLÉMENT GUILLAUD et ROBERT GOUTTE,

Laboratoire d'Optique Électronique et de Physique du Métal,
Institut de Physique, Université de Lyon.

Sommaire. — Les mesures d'émission photoélectrique effectuées sur des échantillons métalliques polycristallins soumis à des efforts de traction ou de flexion, démontrent :

- a) que les contraintes mécaniques provoquent un accroissement de l'émission ;
- b) que cet effet est réversible dans le domaine des déformations élastiques et irréversible dans le domaine des déformations plastiques.

Introduction. — La découverte récente faite dans notre laboratoire du renforcement de l'émission électronique secondaire provoqué par l'application de contraintes mécaniques à l'échantillon [1], nous a incités à rechercher si un phénomène analogue existait pour les photoélectrons.

1. Dispositif expérimental. — Dans une enceinte où règne un vide élevé sont disposés la source de rayonnement ultraviolet et son condenseur, l'échantillon métallique servant de photocathode, une anode collectrice et le mécanisme servant à produire la contrainte. Comme enceinte vide nous utilisons la cloche d'un bloc d'évaporation sous vide à grande vitesse de pompage (300 l/s) [2] (*fig. 1*). Le vide est obtenu à l'aide d'une pompe à palettes suivie d'une pompe à diffusion d'huile de silicone. La pression, mesurée par la jauge à ionisation, est de $5 \cdot 10^{-5}$ mm de mercure.

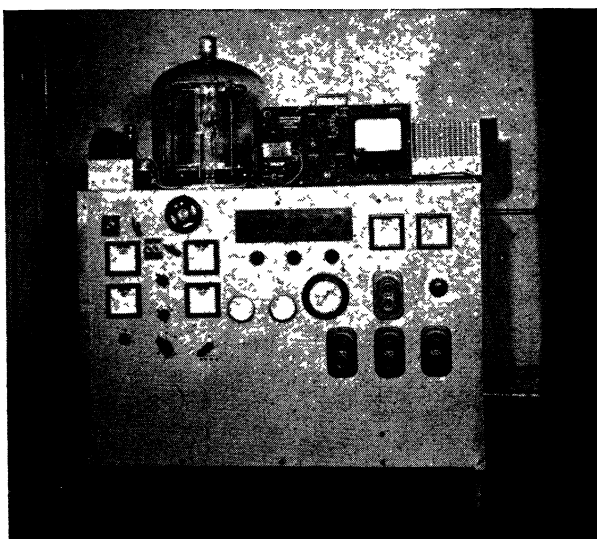


FIG. 1.

La source ultraviolette est une lampe Philips à vapeur de mercure, du type haute pression SP 500, d'une brillance de 30 000 bougies par cm^2 , refroidie par circulation d'eau.

En plaçant devant cette source un écran escamotable, nous avons pu étudier le temps nécessaire à la stabilisation de la lampe (pression, température) et constater que la brillance maximum est atteinte au bout de 30 secondes environ. Nous formons l'image de la partie émissive de la lampe (cylindre de $L = 10$ mm et $\varnothing = 0,5$ mm) sur la surface à étudier à l'aide d'une optique de quartz.

L'échantillon est en général constitué par un ruban métallique d'environ $1/100$ mm d'épaisseur, 30 mm de long et 10 mm de large. Il est relié à la masse par l'intermédiaire de l'appareil de mesure. Les photoélectrons émis sont recueillis par une grille métallique placée au-dessus de l'échantillon et portée à un potentiel positif (*fig. 2*).

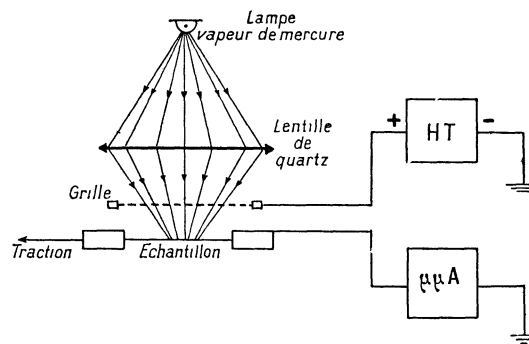


FIG. 2. — Dispositif expérimental.

L'appareil utilisé pour la mesure du courant photoélectrique est un multimètre électronique sensible à 5×10^{-12} ampère, à condition de prendre certaines précautions expérimentales.

Pour l'application des contraintes mécaniques, nous avons successivement utilisé divers dispo-

sitifs permettant de réaliser soit une traction, soit une compression superficielles.

Le dispositif de traction est représenté figure 3. Un ruban métallique mince est pincé à ses deux

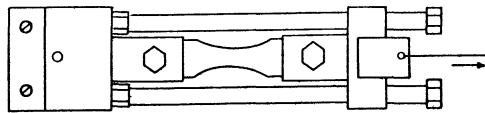


FIG. 3. — Dispositif de traction.

extrémités dans des mâchoires conductrices. L'une de ces extrémités est fixe, tandis que la traction est exercée à l'autre bout au moyen d'un treuil commandé à travers un joint étanche.

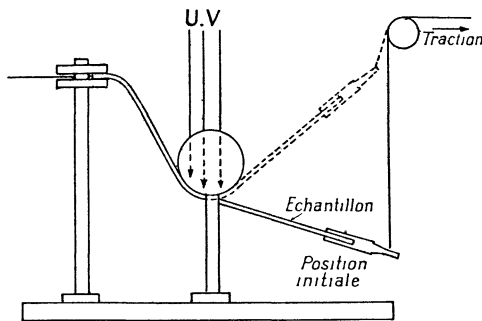


FIG. 4. — Dispositif de flexion.

La figure 4 montre le dispositif de flexion adopté pour l'étude du plomb, de l'aluminium et du laiton. L'échantillon est suffisamment épais, de 1 à quel-

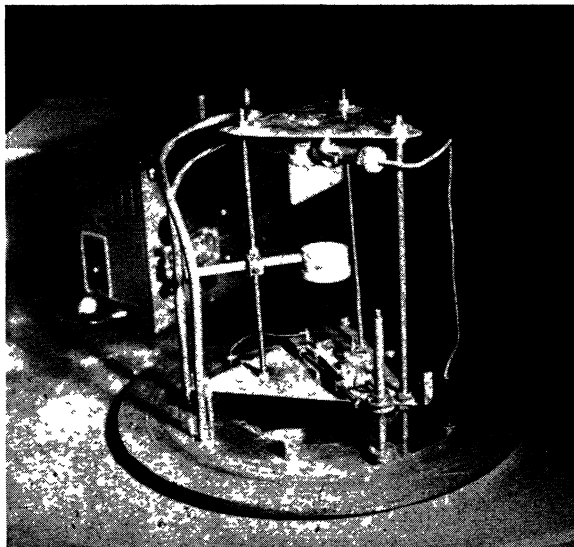


FIG. 5.

ques millimètres, pour qu'une flexion provoque sur les faces en regard deux efforts opposés, trac-

tion d'un côté, compression de l'autre. La bande métallique soumise à la flexion repose par ses bords sur deux demi-cylindres si bien qu'elle s'enroule autour d'eux. L'image de la source ultraviolette se forme sur la bande métallique entre les deux demi-cylindres.

En éclairant soit le côté concave, soit le côté convexe, on a la possibilité d'observer l'effet produit par des contraintes de signes opposés, compression dans le premier cas, traction dans le second.

La figure 5 représente l'ensemble du dispositif équipé pour un essai de traction, cloche enlevée.

2. Mesures statiques. — Il importait avant tout de vérifier que dans les conditions de vide imposées par notre équipement, il était possible d'obtenir des émissions photoélectriques relativement stables et reproductibles. Dans une première série d'expériences nous avons donc mesuré l'émission de quelques métaux pris au repos et étudié l'influence sur cette émission du degré de vide et des pollutions superficielles.

Pour tous les métaux utilisés (nickel, argent, or, palladium, aluminium), nous avons relevé des comportements analogues ; l'émission photoélectrique croît d'abord rapidement puis lentement en fonction du temps d'irradiation (fig. 6). Il fallait

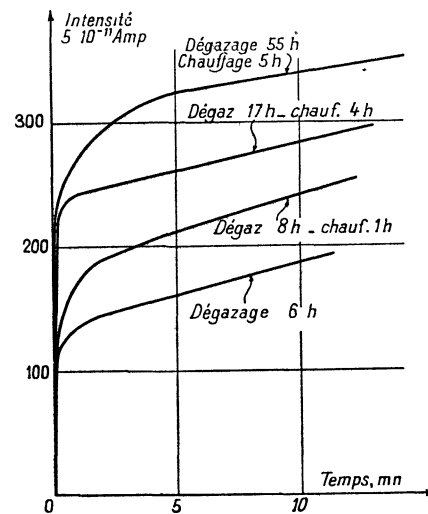


FIG. 6. — Dégazage de l'or.

s'y attendre car nos échantillons sont naturellement recouverts d'une couche adsorbée physiquement ou même chimiquement. Cette couche, qui contient des gaz et surtout de la vapeur d'eau, réduit d'une façon considérable l'émission photoélectrique du métal sous-jacent, et inversement les causes susceptibles de réduire son importance. provoquent un accroissement correspondant du courant photoélectrique. L'action ionisante du rayon-

nement ultra-violet est précisément une de ces causes qui explique l'augmentation de l'émission photoélectrique enregistrée au début de chaque expérience.

Cette interprétation du phénomène est confirmée par les essais suivants :

a) L'émission photoélectrique initiale augmente en fonction du temps pendant lequel l'échantillon a été soumis au vide élevé avant le début de l'irradiation, elle se stabilise ensuite plus rapidement à sa valeur maximum.

b) En chauffant l'échantillon sous vide, on obtient le même résultat mais d'une façon plus rapide et plus complète et les maxima d'émission photoélectrique sont d'autant plus forts que le traitement préalable a été plus long (fig. 6).

En fait, le dégazage insuffisant de l'échantillon, la pollution de sa surface par les huiles de silicone non piégées, font que l'équilibre n'est jamais atteint et que l'émission enregistrée évolue en fonction du temps, généralement en augmentant lentement sans qu'il soit possible d'atteindre un palier parfait. Nous avons pu apprécier l'influence d'un vide amélioré en opérant quelques mesures dans une installation en verre vidée par une pompe à diffusion de mercure piégée avec de l'air liquide. Le vide était inférieur à 10^{-6} mm de mercure. Les courants photoélectriques mesurés dans ces conditions sont effectivement un peu supérieurs, mais l'allure générale du phénomène n'est pas changée.

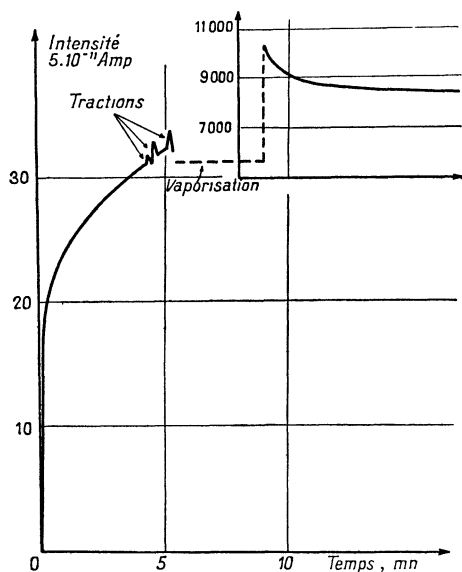


FIG. 7. — Couche vaporisée : palladium.

Pour tourner la difficulté inhérente aux couches adsorbées sur l'échantillon, nous avons cherché à obtenir une couche émissive vierge en recouvrant l'échantillon d'une pellicule du même métal évaporé sous vide juste avant le début de l'expé-

rience. Comme il fallait s'y attendre les émissions photoélectriques mesurées dans ces conditions sont très fortement accrues, mais elles diminuent en fonction du temps (fig. 7), d'abord rapidement puis plus lentement pour se stabiliser à une valeur beaucoup plus forte (100 fois) que celle donnée par le métal sous-jacent. Il est vraisemblable que le début de l'irradiation est marqué par la recristallisation rapide de la couche évaporée [3] si bien que très vite l'émission photoélectrique redevient celle du métal massif peu pollué.

Malgré tout, la pression résiduelle de l'enceinte est suffisante pour qu'une couche d'huile adsorbée se forme sur l'échantillon en entraînant une décroissance progressive de l'émission photoélectrique qui se stabilise lorsque l'équilibre est atteint avec l'atmosphère résiduelle (fig. 7 ci-contre).

En résumé, ces expériences préliminaires nous ont montré qu'il était nécessaire de travailler avec des échantillons dégazés longtemps à l'avance et si possible à chaud, à moins qu'on ne forme directement la couche émissive par évaporation sous vide sur un échantillon du même métal massif. Moyennant ces quelques précautions, l'émission photoélectrique est assez stable pour qu'on puisse en étudier les variations sous l'influence d'une cause extérieure.

3. Modification de l'émission photoélectrique produite par un effort de traction. — Les expériences ont porté sur des rubans constitués par les métaux ou alliages suivants : or, nickel, palladium, argent à 5 % de magnésium et aluminium.

a) ÉTUDE DE L'OR. — L'échantillon est constitué par une feuille d'or de 1/100 de mm d'épaisseur. Quel que soit l'état de dégazage atteint, on observe au moment où l'effort de traction est

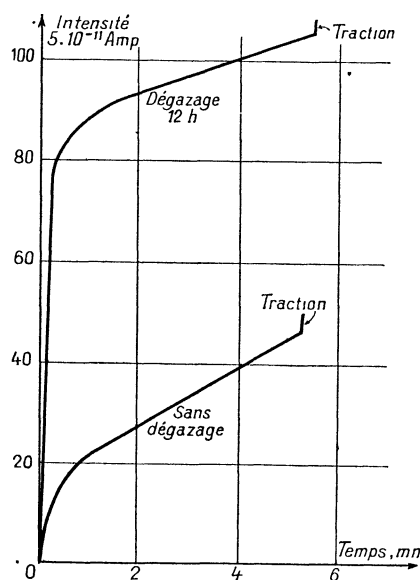


FIG. 8. — Étude de l'or.

appliqué, un accroissement de l'émission photoélectrique de l'ordre de 5 à 10 % comme le montre un exemple reproduit figure 8 ci-contre.

b) ÉTUDE DU NICKEL. — Les essais réalisés par traction sur des rubans de 2/100 de mm d'épaisseur, conduisent à des résultats en tous points comparables aux précédents. Les courbes d'émission ont la même allure générale. L'accroissement d'émission provoqué par l'effort de rupture varie entre 6 et 12 %.

c) ÉTUDE DU PALLADIUM. — La traction est exercée sur un ruban étroit épais de 5/100 de mm. L'exaltation de l'émission photoélectrique enregistrée au moment de la rupture atteint 2 à 5 %.

d) ÉTUDE DE L'ALLIAGE ARGENT-MAGNÉSIUM 5 %. — Le mécanisme reste le même avec un accroissement à la rupture de l'ordre de 3 %.

e) ÉTUDE DE L'ALUMINIUM. — Contrairement aux métaux ou alliages précédents, l'aluminium se recouvre très facilement d'une couche compacte d'alumine si bien que son comportement photoélectrique est assez difficile à étudier. On connaît encore très mal l'émission du métal vierge.

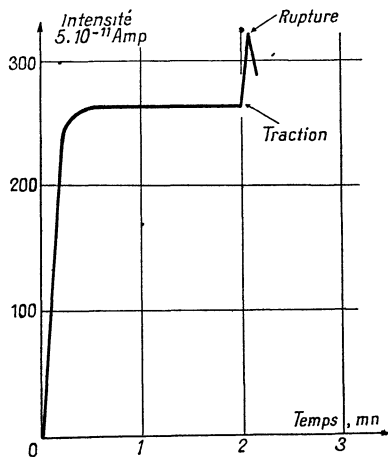


FIG. 9. — Aluminium : dégazage 20^H, chauffage 6^H.

Les expériences précédentes, reprises avec des rubans d'aluminium, ont effectivement révélé un comportement photoélectrique singulier. Un échantillon dégazé 26 heures par chauffage sous vide, nous a donné une émission photoélectrique très stable (fig. 9). L'application d'une traction active encore cette émission, mais cette fois dans des proportions anormalement grandes 24 %. Sur des échantillons non préalablement dégazés, le renforcement causé par la traction dépasse 30 et même 50 %. Il faut probablement rechercher la cause de ce comportement anormal dans la couche d'alumine superficielle qui, en se déchirant sous l'influence de la traction, fait apparaître le métal vierge sous-jacent dont le pouvoir émissif est très grand.

Avec l'aluminium, il nous a été possible d'appliquer la traction par paliers successifs. Dans ce cas, l'accroissement d'émission provoqué par une première traction suivie de déformation permanente, se conserve jusqu'à ce qu'un deuxième effort vienne augmenter la déformation et du même coup l'émission photoélectrique.

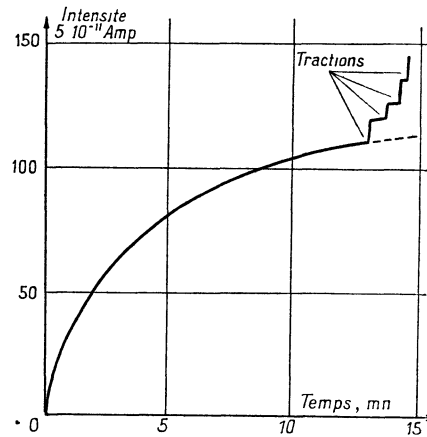


FIG. 10. — Aluminium : tractions.

La courbe de la figure 10 montre bien l'effet cumulatif obtenu au cours de quatre tractions successives appliquées jusqu'à rupture de l'échantillon.

f) ÉTUDE DES COUCHES ÉVAPORÉES SOUS VIDE ET SOUMISES A UN EFFORT DE TRACTION. — Les expériences précédentes ont été reprises après avoir recouvert l'échantillon d'une couche de même métal évaporé : or, nickel, palladium, argent-magnésium.

Comme nous l'avons indiqué précédemment,

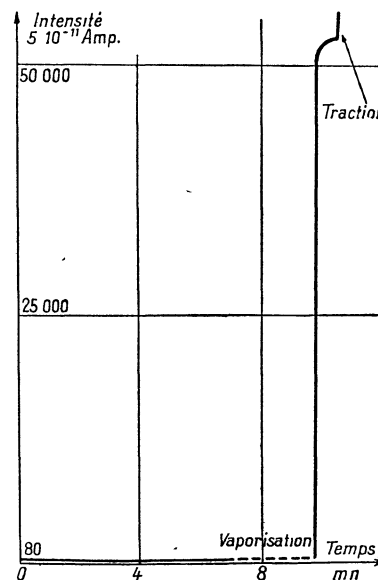


FIG. 11. — Aluminium : vaporisation et traction.

l'émission initiale est alors très fortement accrue. Elle décroît dans les premières secondes d'irradiation pour se stabiliser à une valeur encore très forte (100 fois la valeur du métal massif). Sous l'effet d'une traction ces couches évaporées se comportent pourtant comme le métal massif lui-même. Le renforcement d'émission photoélectrique est du même ordre, atteignant en moyenne, au moment de la rupture, 5 % de la valeur initiale.

Une mention spéciale doit être faite pour l'aluminium évaporé. L'émission photoélectrique obtenue avec la couche évaporée d'aluminium est énorme (presque 1 000 fois plus forte que celle du métal massif recouvert d'alumine), mais le renforcement provoqué par la charge de rupture correspond à 5 % environ de l'émission totale (fig. 11) au lieu des 30 % mesurés sur les échantillons d'aluminium massif.

L'aluminium évaporé se comporte donc, tant qu'il n'a pas été réoxydé, comme les métaux peu oxydables étudiés précédemment.

4. Modification de l'émission photoélectrique engendrée par un effort de flexion. — L'effort de flexion présente un intérêt particulier car il permet de provoquer simultanément sur les 2 faces de l'échantillon une contrainte de traction (face convexe) et une contrainte de compression (face concave). La compression est particulièrement intéressante pour étudier des métaux pollués superficiellement car elle ne met pas à nu le métal sous-jacent généralement plus émissif.

a) ÉTUDE DU PLOMB. — Cet essai de flexion a été appliqué sur une feuille de plomb de quelques mm d'épaisseur, préalablement traitée à l'acide nitrique bouillant puis dégazée sous vide. L'émission croît d'abord rapidement pendant les premières minutes puis passe par un maximum et se

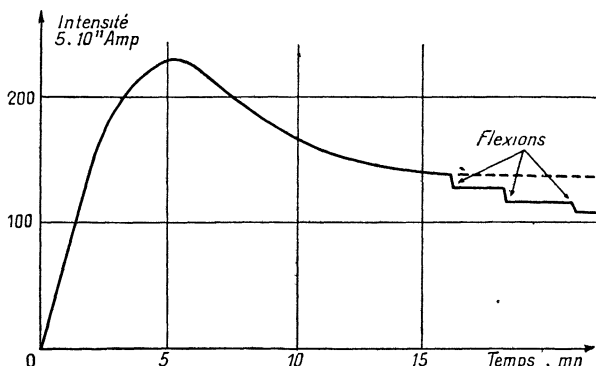


FIG. 12. — Plomb. Flexion : côté compression.

stabilise lentement (fig. 12). Le courant photoélectrique étant collecté sur la face mise en compression, on constate que trois flexions successives

provoquent une réduction additive de l'émission, la réduction totale atteignant 20 % (1).

b) ÉTUDE DE L'ALUMINIUM. — La même expérience de flexion a été reprise avec de l'aluminium pur (fig. 13). La courbe d'émission montre alors l'aspect usuel, avec une forte augmentation pendant les premières minutes d'irradiation suivie d'un palier très faiblement ascendant. Chaque effort de flexion se manifeste par un accroissement instantané de l'émission, l'effet est additif d'une flexion à l'autre.

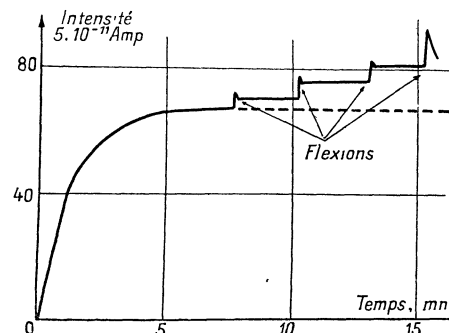


FIG. 13. — Aluminium. Flexion : côté compression.

On remarque, figure 13, qu'immédiatement après l'application de la contrainte (ici compression), l'émission décroît légèrement puis se stabilise à une valeur accrue. Cette régression à partir du maximum peut s'expliquer par le fait que le ruban d'aluminium possède une certaine élasticité. La contrainte provoquée par l'application de l'effort de flexion comprend donc deux parties :

a) une contrainte élastique qui disparaît avec la suppression de la force appliquée ;

b) une contrainte plastique qui persiste après disparition de la cause.

Si cette interprétation est correcte, l'accroissement maximum de l'émission enregistré pendant l'application de l'effort représente la somme des effets dus aux déformations élastiques et plastiques, tandis que le résidu correspondant au palier qui suit la disparition de la force traduit l'effet produit par la déformation plastique seule. Ainsi le renforcement de l'émission photoélectrique provoqué par les déformations élastiques serait réversible, alors que celui dû aux déformations plastiques aurait un caractère irréversible.

d) ÉTUDE DU LAITON. — Pour préciser cette interprétation, nous avons repris l'expérience

(1) Le plomb semble encore plus sensible aux contaminations superficielles que les autres métaux étudiés. Les renseignements de la littérature sur son émission photoélectrique sont d'ailleurs très incertains et fragmentaires. La courbe que nous reproduisons figure 12, n'a donc qu'un caractère qualitatif; elle permet toutefois d'établir la différence entre matériaux élastiques (cf. laiton) et non élastiques.

précédente avec des alliages franchement élastiques acier ou laiton. La figure 14 reproduit la

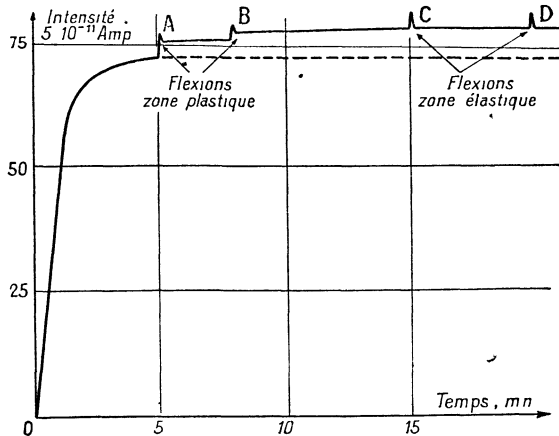


FIG. 14. — Laiton. Flexion : côté compression.

courbe enregistrée avec le laiton. On y retrouve bien l'aspect de la courbe figure 13. Chaque flexion entraîne une exaltation de l'émission photoélectrique qui régresse après suppression de l'effort jusqu'à une valeur résiduelle stable correspondant à la déformation plastique. Toutefois, après deux opérations A et B, notre dispositif ne permet plus d'accroître la déformation permanente. Les déformations suivantes C et D sont donc purement élastiques (la lame de laiton reprend sa position initiale après chaque opération) et l'accroissement d'émission photoélectrique correspondant prend un caractère parfaitement réversible. Notons à l'appui de cette interprétation les résultats obtenus avec le plomb, métal non élastique. Dans ce cas (fig. 12), on ne constate aucune régression de l'effet après suppression de la force appliquée et la modification d'émission observée est totalement irréversible.

On pourrait toutefois objecter que l'allure des courbes s'expliquerait aussi par de simples modifications géométriques. En effet, la courbure de la lame se modifie pendant l'expérience et cette déformation comporte une partie permanente (déformation plastique) et une partie réversible (déformation élastique). L'image de la source ultraviolette se fait donc sur une surface de forme et d'incidence variables et il faut s'assurer que cette modification géométrique n'intervient pas d'une façon sensible dans le phénomène.

Nous avons donc repris l'expérience de flexion en disposant librement sur la lame de laiton une feuille d'aluminium très mince (1/100 de mm). Cette feuille libre épouse naturellement les formes de la bande de laiton, mais ne subit pratiquement

pas de contraintes en raison de sa très faible épaisseur (fig. 15). En mesurant son émission

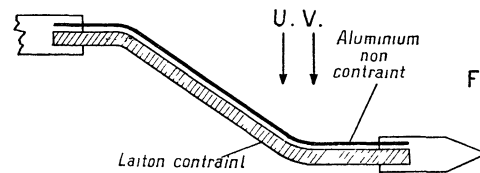


FIG. 15.

photoélectrique dans les conditions habituelles, nous vérifions qu'elle est pratiquement indépendante de la courbure, les fluctuations observées pendant l'expérience restant inférieures à 1 %.

L'objection que nous formulions précédemment n'est donc pas fondée et ne compromet pas notre interprétation des expériences de flexion.

5. Conclusion. — Malgré le caractère nécessairement préliminaire de ces travaux, un certain nombre de points se dégagent nettement :

1) Toute contrainte mécanique appliquée à une substance polycristalline modifie son émission photoélectrique (en général augmentation de 5 à 10 %).

2) Le signe de la contrainte positive ou négative (traction ou compression) ne semble pas être déterminant.

3) Une distinction nette s'établit entre déformations élastiques et inélastiques :

a) les contraintes élastiques provoquent une variation réversible de l'émission photoélectrique ;

b) les contraintes plastiques entraînent au contraire des variations irréversibles de l'émission photoélectrique.

4) Cet effet semble étroitement lié au phénomène d'exaltation de l'émission secondaire récemment découvert et possède vraisemblablement la même origine [1].

Ici encore le rôle primordial est probablement dévolu aux perturbations intracristallines engendrées par la contrainte, atomes déplacés, places vacantes, dislocations, surstructures, espaces mosaïques, lignes de glissement. Une étude microscopique du phénomène serait sans doute riche d'enseignement, nous en apprécions malheureusement toute la difficulté. Dans un domaine plus proche, il serait important de suivre l'émission photoélectrique au cours du réarrangement cristallin provoqué par un revenu ou un recuit et c'est dans ce sens que nous comptons poursuivre ces travaux.

Manuscrit reçu le 27 mars 1956.

BIBLIOGRAPHIE

[1] DAVOINE (F.) et BERNARD (R.), Influence des contraintes mécaniques sur l'émission électronique secondaire des substances métalliques polycristallines. *Communication à la Société française de Physique*, Lyon, le 23 mars 1956. *J. Physique Rad.*, 1956, **17**, 859.

[2] BERNARD (R.) et DAVOINE (F.), Dispositif d'évaporation sous vide à vitesse de pompage élevée. *Le Vide*, 1952, **37**, 1136-1138.

[3] CHUNG FU YING et FARNSWORTH (H. E.), *Phys. Rev.*, 1952, **83**, 485-486.