



HAL
open science

Influence de la structure sur l'effet Hall des lames minces de nickel phosphore

Jean Fléchon, Maurice Viard

► **To cite this version:**

Jean Fléchon, Maurice Viard. Influence de la structure sur l'effet Hall des lames minces de nickel phosphore. *Journal de Physique*, 1968, 29 (10), pp.937-940. 10.1051/jphys:019680029010093700 . jpa-00206733

HAL Id: jpa-00206733

<https://hal.science/jpa-00206733>

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 DE LA STRUCTURE SUR L'EFFET HALL DES LAMES MINCES DE NICKEL PHOSPHORE

Par JEAN FLÉCHON et MAURICE VIARD,

Laboratoire de Physique de Dépôts Métalliques, Faculté des Sciences, Nancy.

(Reçu le 1^{er} avril 1968.)

Résumé. — L'effet Hall des lames minces de nickel phosphore préparées par oxydo-réduction en phase liquide [1-2] est étudié sous vide classique (2×10^{-6} torr) à différentes températures après stabilisation préalable du matériau. Si la substance est amorphe, l'effet varie en sens inverse de la température de mesure et dans le même sens qu'elle lorsque la cristallisation s'est produite. Dans les deux cas, la conductivité est électronique : les coefficients R_0 et R_1 sont négatifs. Les résultats sont en bon accord avec les théories existantes.

Abstract. — The Hall effect of thin deposits of phosphor-nickel obtained by oxidation-reduction in the liquid phase is studied in vacuo (2×10^{-6} torr) at various temperatures (-100 °C, $+400$ °C). When the substance is amorphous, the effect increases with decreasing temperature; the opposite effect is observed when crystallization has taken place. In both cases, the conductivity is of electronic character. The R_0 and R_1 coefficients are negative. The results obtained are in keeping with prevailing theories.

Étude expérimentale. — CONDITIONS DE TRAVAIL. — Elles ont été définies dans une précédente communication [3]. Les lames ($4 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$) [1-2] préparées à partir de volumes égaux d'oxydant et de réducteur ($1/2 \text{ O}$, $1/2 \text{ R}$) sont placées dans une induction magnétique variant de 0 à 1,7 tesla. L'alimentation électrique est soit alternative (1 000 Hz-1 mA), soit continue. L'enceinte est en pyrex. Le vide 2×10^{-6} torr à 20 °C, 5×10^{-5} à 350 °C. Le chauffage est assuré par une résistance plate non magnétique de nickel chrome placée au contact du support plan de la lame étudiée. Ainsi la température est sensiblement constante dans tout le dépôt et les effets thermomagnétiques parasites (Nernst, Ettingshausen, Righi, Leduc) sont évités. La régulation de température est assurée à 0,5° près.

Les mesures effectuées sur 80 lames minces de 300 à 3 000 Å sont toujours précédées d'un recuit stabilisant isotherme dont les effets sont continûment suivis par mesure précise de la conductivité électrique. De nombreux essais ont en effet montré que la structure d'une lame mince évolue irréversiblement dans le temps, même si la température est fixe, si une stabilisation convenable n'a pas été obtenue par un traitement approprié. Nous considérerons arbitrairement la stabilisation comme suffisante lorsque $\Delta \frac{(R)}{R} \leq 10^{-3}$ en une heure. Simultanément une étude des structures aux rayons X [1-2] montre que les recuits stabilisants isothermes inférieurs à 250 °C laissent le matériau quasi amorphe, alors qu'au-delà et jusqu'à 500 °C les

phosphures de nickel et le nickel cristallisent. Nous appellerons domaine I le premier type de traitement, domaine II le second.

INFLUENCE DU VIDE ET DU RECUIT : MESURES A TEMPÉRATURE AMBIANTE. — L'air et les gaz adsorbés par la lame au cours de sa génération influent sur les propriétés magnétiques du dépôt. L'effet Hall mesuré sous vide est plus important que dans l'air (*fig. 1*). Les pentes à l'origine sont plus fortes. Des constatations analogues ont été faites sur le nickel pur [5].

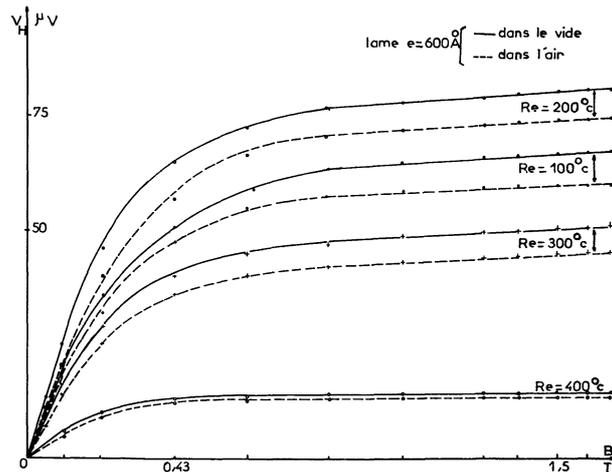


FIG. 1.
Mesure à température ambiante après recuit Re.

La mesure des tensions sur une lame mince plongée dans un gaz correspond à une conductivité superficielle perturbée par la présence d'un adsorbat modifiant l'épaisseur effective de la lame : tout se passe comme si l'épaisseur de conduction était plus forte, ceci entraînant une diminution de la tension.

V_H à 20 °C croît avec la température de stabilisation si l'échantillon est dans le domaine I, alors qu'il décroît dans le domaine II et tend vers des valeurs caractérisant le nickel pur [5]. Dès que l'induction dépasse 0,5 tesla, les coudes de saturation liés à l'augmentation du ferromagnétisme du matériau [1] s'accroissent.

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE DE MESURE. — Le recuit préalable étant réalisé dans les conditions précédentes, nous modifions la température de l'échantillon afin d'examiner comment, entre -100 °C et 400 °C, se modifie la tension de Hall observée : la température de mesure ne dépassant jamais celle de la stabilisation initiale.

Dans le domaine I, à une élévation de température de mesure correspond une diminution de la tension de Hall (exemple : $e = 500 \text{ \AA}$) :

$$V_H = 95 \text{ } \mu\text{V} \text{ à } -100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$48 \text{ } \mu\text{V} \text{ à } 180 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Dans le domaine II, la même lame se comporte comme si elle était formée de nickel pur [5-6], soit :

$$V_H = 14 \text{ } \mu\text{V} \text{ à } 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$20 \text{ } \mu\text{V} \text{ à } 200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$6 \text{ } \mu\text{V} \text{ à } 350 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Toutes les valeurs de V_H diminuent, mais cette fois V_H croît lorsque la température s'élève de 20 °C à 200 °C. Le passage au point de Curie — au-delà de 350 °C — coïncide avec la disparition de la saturation, donc du caractère ferromagnétique, lorsque augmente l'induction magnétique. On retrouve les observations faites sur les lames de nickel pur [5].

RELATIONS ENTRE LES RÉSULTATS ET LES THÉORIES EXISTANTES DE L'EFFET HALL DES FERROMAGNÉTIQUES. — Pugh résume les phénomènes observés sur les lames minces ferromagnétiques par la loi [4] :

$$V_H = \rho_H \frac{I}{e}$$

où :

$$\rho_H = \mu_0(R_0 H + R_1 J) = R_0 B + \mu_0 R_s J$$

ρ_H : résistivité de Hall en ohm.m.

J : aimantation en A/m.

R_0 : constante ordinaire de Hall.

R_1 : constante extraordinaire de Hall.

R_s : coefficient spontané de Hall : } en m^3/c .

$$R_s = R_1 - R_0$$

LA CONSTANTE EXTRAORDINAIRE R_1 . — La figure 2 donne $|R_1|$ des lames minces dans le domaine I en fonction de l'épaisseur. $|R_1|$ croît brusquement à

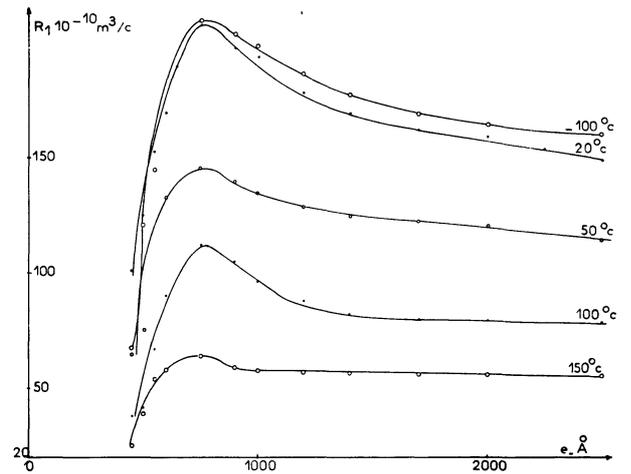


FIG. 2. — Lames recuites et stabilisées à 200 °C.

partir de 400 \AA , passe par un maximum vers 750 \AA et tend vers une limite lorsque l'épaisseur augmente. Goureaux [5] et Vauthier [7] ont noté des résultats analogues sur des lames minces de nickel et de fer, le maximum se situant vers 200 \AA . L'existence du phosphore en fond de lame avec un taux qui peut dépasser 15 % n'est pas étrangère à cet écart ainsi qu'à la montée rapide de $|R_1|$.

A épaisseur constante, lorsque la température de mesure s'élève, $|R_1|$ diminue régulièrement de $200 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{c}$ à -100 °C à $60 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{c}$ à 150 °C.

R_1 , dans le domaine II, devient sensiblement constante à toute épaisseur et passe, à 20 °C, de $-160 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{c}$ dans le domaine I à $-27 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{c}$ dans le domaine II (dans les mêmes conditions, les lames minces de nickel pur conduisent à $-7,4 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{c}$). Durant le recuit se sont produites : la diffusion d'atomes de phosphore dans la

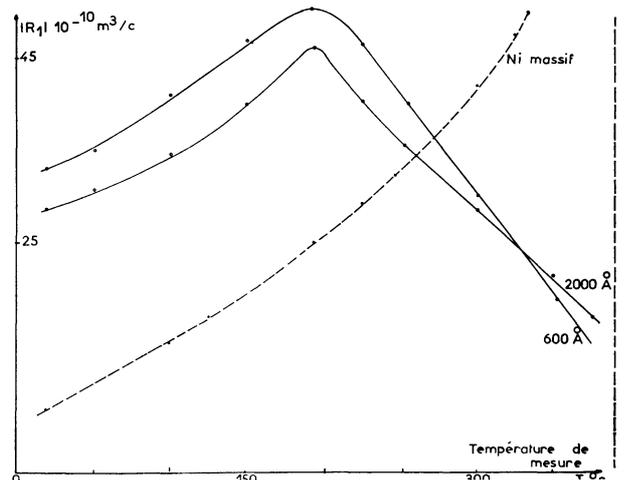


FIG. 3. — Lames recuites à 400 °C.

direction du gradient de concentration ainsi que la cristallisation des phosphures de nickel et du nickel.

La figure 3 montre la variation de R_1 avec la température pour une épaisseur donnée : jusqu'à 200 °C l'allure des courbes est celle du nickel pur, avec un décalage accusé par la présence de phosphore qui influe également sur le passage au maximum de $|R_1|$ différent de celui des lames minces de nickel pur évaporé [5].

LA CONSTANCE ORDINAIRE R_0 . — Les mesures à 20 °C des lames dans le domaine I en fonction de l'épaisseur montrent que $|R_0|$ est maximum à 750 Å, soit $8 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{c}$; il diminue ensuite linéairement. Les mêmes lames dans le domaine II ont un maximum ramené à $2,5 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{c}$ avec une limite :

$$R'_0 = -1,5 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{c}$$

aux fortes épaisseurs au lieu de $-0,6 \times 10^{-10} \text{ m}^3/\text{c}$ pour le nickel pur.

La figure 4 représente la variation linéaire du paramètre champ $\alpha = R_1/R_0$ en fonction de l'épais-

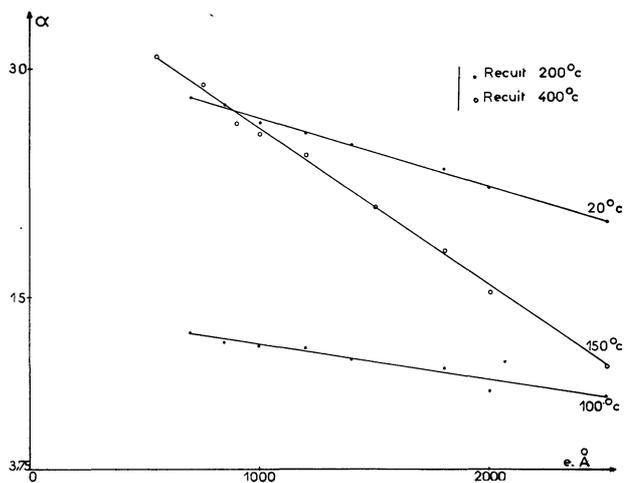


FIG. 4. — Paramètre champ $\alpha = R_1/R_0$.

seur. Dans le domaine I, les mesures à 20 °C et 100 °C donnent une pente négative sensiblement constante. Dans le domaine II, les mesures à 150 °C conduisent à une pente de valeur absolue plus forte que la précédente : le caractère ferromagnétique du dépôt s'est accentué.

LE COEFFICIENT SPONTANÉ DE HALL R_s . — Karplus et Luttinger [10] énoncent une théorie de l'effet Hall des ferromagnétiques basée sur l'interaction spin-orbite des électrons 3d. Ils montrent que R_s est proportionnel à une puissance m de la résistivité électrique du métal ρ ; $R_s = A\rho^m$ avec $m = 2$. Smit [11] retrouve cette loi et pose $1,4 < m < 2$. Sur la figure 5, $\text{Log } R_s$ est porté en fonction de $\text{Log } \rho$ pour différentes

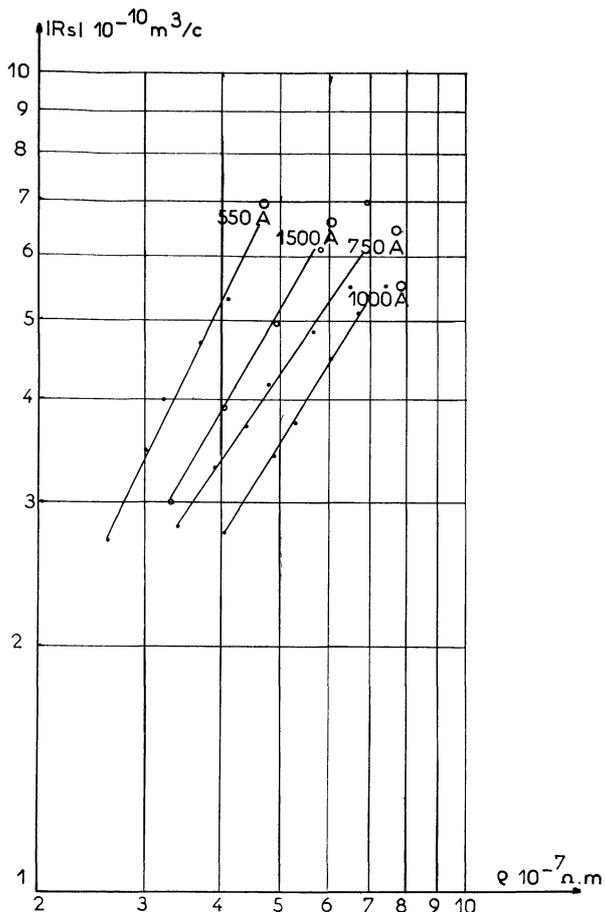


FIG. 5. — Lames stabilisées entre 200 °C et 400 °C.

lames stabilisées dans les domaines I et II. Les droites ainsi obtenues ont des pentes comprises entre 1,75 et 2 dans le domaine I; 1,4 et 1,7 dans le domaine II.

DÉTERMINATION APPROCHÉE DE LA SUSCEPTIBILITÉ A L'ORIGINE. — Pour des valeurs faibles du champ magnétique, la variation de ρ_H en fonction de B n'est pas parfaitement linéaire. La détermination de la pente $d\rho_H/dB$ à l'origine permet d'atteindre la susceptibilité magnétique de la substance χ_0 [12-13] :

$$\left(\frac{d\rho_H}{dB}\right)_0 = \frac{R_0 + \chi_0 R_1}{1 + \chi_0}$$

A partir des résultats précédents, portons dans le tableau I les valeurs de la susceptibilité à l'origine χ_0 . Les mesures à température ambiante montrent que χ_0 croît avec la température du recuit préalable. Dans le domaine II, χ_0 augmente avec la température de mesure jusqu'au voisinage du point de Curie où χ_0 chute brusquement, alors que dans le domaine I la décroissance est régulière. La susceptibilité des lames minces varie comme le coefficient d'aimantation connu par des mesures effectuées sur les poudres [1].

TABLEAU I

1 000 Å	20 °C	50 °C	100 °C	150 °C	200 °C	250 °C
—	—	—	—	—	—	—
Recuit à 100 °C	10,6	7,5				
Recuit à 200 °C	12,9	8	3,5	2,5		
Recuit à 300 °C	15,1	15,5	23,5	35	8,2	10,5
Recuit à 400 °C	22	51	46	65	14,5	4

Après un recuit à 400 °C, le nickel phosphore possède une susceptibilité $\chi_0 = 22$, des mesures faites à 20 °C sur des lames de nickel pur ont conduit à $\chi_0 \neq 21$ (S.I.) [14-15]. L'ordre de grandeur est bien respecté.

Conclusion. — L'effet Hall des lames minces de nickel phosphore est étroitement lié à la composition et à la structure physico-chimique des échantillons.

La présence d'atomes de phosphore dispersés dans une matrice de nickel augmente la tension V_H . La même quantité de phosphore associée au nickel sous forme de phosphure de nickel Ni_3P n'intervient plus de façon prépondérante dans la conductivité et les caractères ferromagnétiques du dépôt s'affirment. Si le comportement des lames pose un problème d'interprétation, les mesures faites sont en bon accord avec les théories existantes de l'effet Hall des ferromagnétiques.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] FLÉCHON (J.), Thèse, 1960, Nancy.
- [2] FLÉCHON (J.) et MACHIZAUD (F.), *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1966, **263**, 500.
- [3] FLÉCHON (J.) et VIARD (M.), *J. Physique*, à paraître.
- [4] PUGH (E. M.), *Phys. Rev.*, 1930, **36**, 503.
FONER (S.) et PUGH (E. M.), *Phys. Rev.*, 1953, **91**, 4.
- [5] GOUREAUX (G.), Thèse, 1960, Caen.
- [6] REIMER (L.), *Z. Physik*, 1958, **150**, 280.
- [7] VAUTIER (C.), *J. Physique*, 1966, **27**, 532.
- [8] VIARD (M.), D.E.S., 1965, Nancy.
- [9] SONDHEIMER, *Adv. in Physics*, 1952, **1**, 1.
- [10] KARPLUS et LUTTINGER, *Phys. Rev.*, 1954, **21**, 1158.
- [11] SMIT (J.), *Physica*, 1955, **21**, 877 ; *Nuovo Cimento*, 1957, **3**, 1177.
- [12] FONER (S.), *Physica*, 1956, **101**, 1649.
- [13] COREN (R.) et JURETSCHKE (H.), *J. Appl. Physics*, 1957, **28**, 807.
- [14] PASCAL (P.), *Chimie minérale*, 1963, **17**, 599.
- [15] SORENSEN, *Phys. Rev.*, 1924, **24**, 658.