

LE JOURNAL DE PHYSIQUE

ET

LE RADIUM

RÉSONANCE FERROMAGNÉTIQUE DANS LES FILMS DE PERMALLOY

Par A. VAN ITTERBEEK, G. FORREZ, J. SMITS et J. WITTERS,
 Instituut voor Lage Temperaturen en Technische Fysica, Leuven (Belgie).

Résumé. — On sait que les raies de résonance ferromagnétique dans les couches de permalloy déposées par évaporation sont plutôt fines, comparées à celles d'autres métaux ferromagnétiques.

Nous avons réalisé un montage pour observer la résonance ferromagnétique dans les couches minces, en fonction de leur épaisseur. Nous n'avons pas trouvé d'influence de l'épaisseur de la couche, mais nous avons observé, pour certaines couches, une raie de résonance possédant deux maxima : nous pensons qu'il s'agit là d'un effet d'hétérogénéités ou de tensions existant dans la couche, et qui peuvent dépendre des conditions d'évaporation.

Abstract. — It is known that the ferromagnetic resonance lines in evaporated permalloy films are narrow compared with other ferromagnetic metals.

We developed an apparatus to observe ferromagnetic resonance in thin films as a function of the thickness of the film. We did not find a dependence on the thickness of the film, but we observed for certain films a resonance line with two maxima.

We think this to be a consequence of inhomogenities or stresses in the film. These factors mainly depend on the conditions of evaporation.

1. Introduction. — On sait [1] que la raie de résonance ferromagnétique dans des films évaporés de permalloy est sensiblement plus étroite que celle des autres métaux ferromagnétiques. Nous avons mis au point un appareillage permettant d'étudier la résonance ferromagnétique dans des couches minces. Nous avons étudié la largeur de la raie en fonction de l'épaisseur des films. Une telle dépendance n'a pas été trouvée, mais nous observions pour certains films une raie de résonance possédant deux maxima. Les couches furent évaporées dans le vide sur des lamelles en verre de pyrex. Le permalloy utilisé fut mis à notre disposition par le Pr J. A. Haringx des Laboratoires Philips à Eindhoven.

2. L'appareillage. — La figure 1 représente le schéma du dispositif expérimental. Nous utilisons un oscillateur klystron à une fréquence de 9 335 MHz. Une cavité cylindrique résonnante à cette fréquence contient l'échantillon. L'onde centimétrique, modulée dans la cavité par le signal d'absorption, est détectée par un cristal.

Le signal de basse fréquence ainsi obtenu est appliqué à l'entrée d'un amplificateur de basses fréquences. Enfin un amplificateur sélectif de

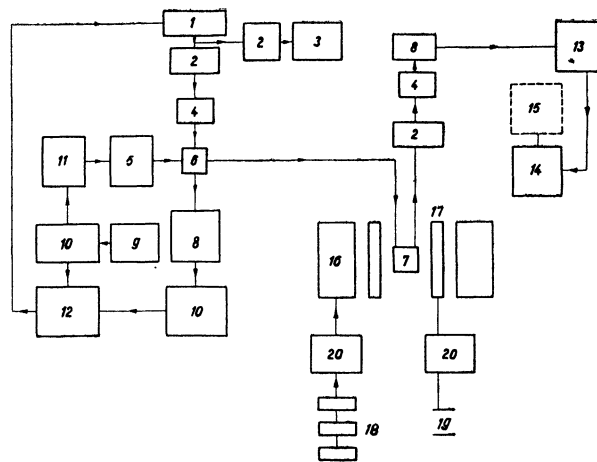


FIG. 1. — Schéma de l'appareillage.
 1. Oscillateur klystron. — 2. Isolateurs unidirectionnels. — 3. Cavité pour mesurer la fréquence. — 4. Atténuateurs. — 5. Transformateurs d'impédance. — 6. Pont en forme de T. — 7. Cavité de mesure. — 8. Cristaux détecteurs. — 9. Oscillateur 30 MHz. — 10. Amplificateurs 30 MHz. — 11. Cristal modulateur. — 12. Tube mélangeur. — 13. Amplificateur de basses fréquences. — 14. Détecteur de phase. — 16. Bobines du champ magnétique constant. — 17. Bobines de modulation. — 18. Batteries. — 19. Réseau. — 20. Régulateurs du courant.

Brüel et Kjaer précédant un détecteur de phase nous donne la valeur de la composante correspondant à 50 Hz dans la raie de résonance.

Pour tenir la fréquence de l'oscillateur klystron tout à fait égale à celle de la résonance de la cavité un stabilisateur AC de Pound est introduit dans le circuit.

Le champ magnétique constant (H_c) est livré par un électro-aimant à basse résistance, alimenté par des batteries. La disposition est telle que H_c est perpendiculaire au champ magnétique HF. Le champ alternatif ($h_r \cos \Omega t$) est pris au réseau après filtrage. Les échantillons sont placés parallèlement au champ magnétique constant dans l'axe de la cavité. Ainsi le champ magnétique de haute fréquence est aussi parallèle au plan du film.

3. La méthode de mesure. — L'échantillon est soumis à un champ alternatif de 50 Hz superposé au champ constant H_c . Ceci est réalisé au moyen de bobines de modulation placées sur les pièces polaires de l'électro-aimant. Ainsi on parcourt cent fois par seconde une partie du champ magnétique où l'absorption s'effectue. Après la détection nous obtenons un signal qui nous fournit la partie parcourue de la raie. Comme la raie de résonance est, dans le cas présent, large comparée à l'amplitude du champ alternatif qui est à notre disposition il faut mesurer la raie par petits intervalles en donnant au champ H_c quelques valeurs successives. Au lieu d'observer sur l'oscilloscope la raie qui se traduit par la fonction $f(H_o - H_c)$ où H_o est le champ correspondant au maximum de la raie et H_c le champ appliqué, on obtient pour chaque valeur du champ H_c une tension proportionnelle à $f(H_o - H_c + h_r) - f(H_o - H_c - h_r)$. Comme l'amplitude du champ alternatif (h_r) est petite, cela nous donne la dérivée de la raie de résonance.

Finalement, pour obtenir la forme de la raie elle-même, on intègre graphiquement la courbe mesurée.

4. Les échantillons. — Les films de permalloy ont été évaporés dans un appareil d'Edwards à partir d'une nacelle sous forme d'une spirale conique en fil de tungstène. Une plaque de verre sert comme support. Les dimensions de la couche sur laquelle la résonance ferromagnétique est mesurée sont les suivantes : $4 \times 10 \text{ mm}^2$. L'évaporation est faite dans un vide de 10^{-4} mm ou mieux. Pour les films les plus épais deux ou trois spirales ont été chauffées l'une après l'autre.

L'épaisseur des films est mesurée après l'expérience de résonance par la méthode optique de Tolansky mise au point au laboratoire. Elle varie entre 330 et 2 200 Å ce qui correspond à une quantité de métal de 10 à 70 microgrammes.

5. Les résultats expérimentaux et discussion. — Le tableau I fournit les données expérimentales obtenues pour 17 couches.

TABLEAU I

| FILM N° | ÉPAISSEUR (Å) | H_o (Ø) | DISTANCE ENTRE LES POINTS D'INFLECTION (Ø) |
|---------|---------------|-----------|--------------------------------------------|
| — | — | — | — |
| 1 | 330 | 1 271 | 67,6 |
| 2 | 330 | 1 267 | 68 |
| 3 | 450 | 1 215 | 44 |
| 4 | 450 | 1 202 | 40 |
| 5 | 600 | 1 182 | 45,5 |
| 6 | 600 | 1 410 | 41,6 |
| 7 | 700 | 1 327 | 48 |
| 8 | 700 | 1 133 | 64 |
| 9 | 720 | 1 189 | 53 |
| 10 | 720 | 1 170 | 57 |
| 11 | 850 | 1 192 | 116 |
| 12 | 850 | 1 218 | 108 |
| 13 | 1 300 | 1 168 | 61 |
| | | 1 002 | 44 |
| 14 | 1 300 | 1 163 | 61 |
| | | 1 002 | 44 |
| 15 | 1 360 | 1 041 | 53 |
| 16 | 1 360 | 1 037 | 57 |
| 17 | 2 200 | 1 180 | 117 |
| | | 1 023 | 52 |

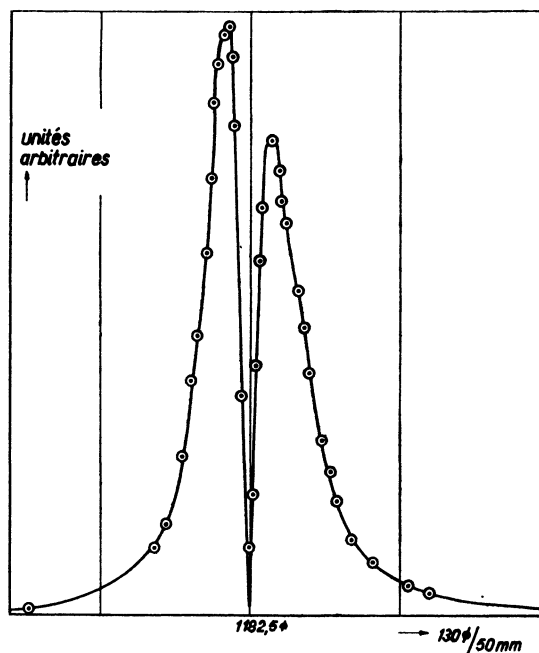


FIG. 2a. — Valeur de la dérivée en unités arbitraires mesurée pour le film n° 5.

Comme nous avons dit plus haut le but original de la recherche était d'examiner s'il existe un rapport entre la largeur de la raie et l'épaisseur du film. De même que Seavey et Tannenwald [2] nous n'avons pas pu observer une certaine corrélation entre ces grandeurs, du moins pour les épaisseurs

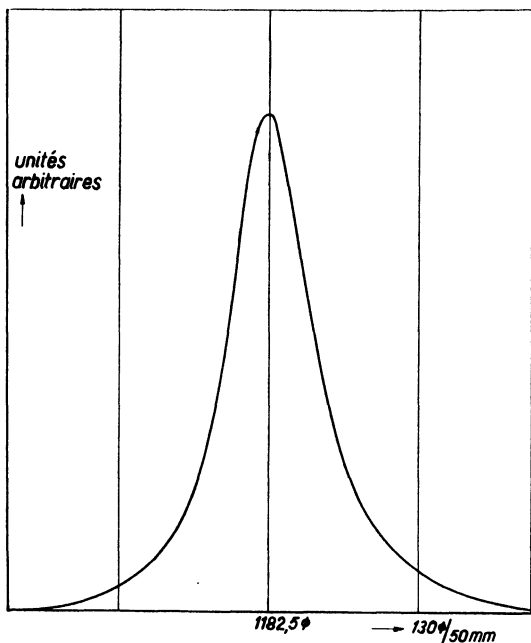


FIG. 2b. — Raie de résonance du film n° 5 en unités arbitraires.

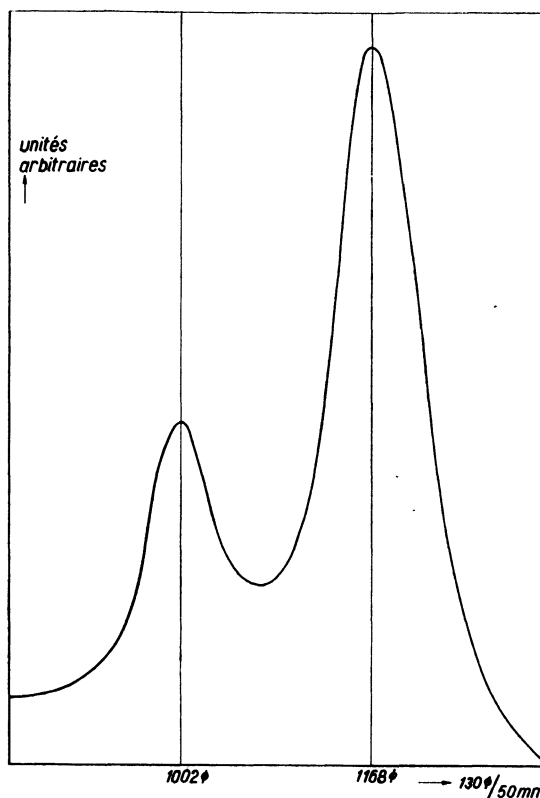


FIG. 3b. — Forme de la raie de résonance pour l'échantillon n° 13.

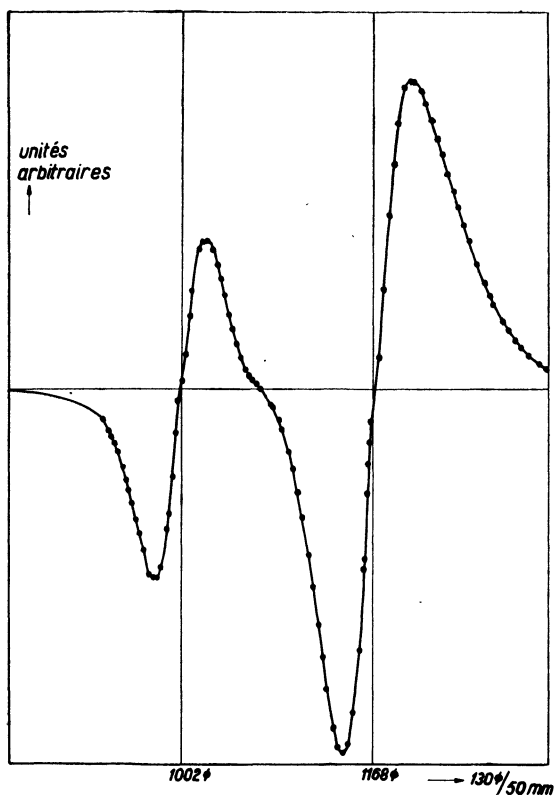


FIG. 3a. — Dérivée de la courbe correspondante à la couche n° 13.

examinées (330 à 2 200 Å). Les différences observées pour les largeurs de la raie doivent être attribuées probablement à d'autres facteurs tels que la présence d'inhomogénéités, l'apparition de tensions, des différences de structure, etc... Ces facteurs qui dépendent surtout des conditions de l'évaporation ne pouvaient pas être détectés jusqu'à présent.

Finalement nous avons pu observer pour certaines courbes un phénomène particulier, l'apparition de deux maxima dans la courbe de résonance. Ceci fut le cas pour les couches n°s 13, 14 et 17. Dans la figure 3a, b sont indiquées à titre d'exemple les courbes obtenues pour la couche n° 13.

Nous pouvons remarquer que ce phénomène se présente en général pour les films épais, qui furent obtenus par évaporation à partir de trois spirales de tungstène contenant une petite quantité de permalloy (± 200 mg). Ce phénomène peut être expliqué de différentes façons parmi lesquelles on peut signaler l'apparition de tensions internes, d'inhomogénéités. En effet nous ne possédons aucune donnée concernant la composition du métal évaporé. D. O. Smith du Laboratoire Lincoln de Mass. Inst. Techn. nous a communiqué dans une lettre privée que lui avait observé une variation de

la concentration du nickel de 0,3 % par 100 °C à partir de 1 550 °C. Également Williams et Sherwood [3] ont observé une variation de la composition du métal par suite de l'évaporation.

A la fin de cet article nous tenons à remercier

l'Union Minière du Haut-Katanga pour son aide financière au cours de cette recherche.

Nous exprimons également notre gratitude envers le Centre Inter-Universitaire de Recherches Nucléaires qui a également subventionné ces recherches.

Manuscrit reçu le 11 septembre 1959.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] TANNENWALD (P. E.) et SEAVEY (M. H., Jr.), *Phys. Rev.*, 1957, **105**, n° 2, 377-378.
- [2] SEAVEY (M. H., Jr.) et TANNENWALD (P. E.), *J. Appl. Physics*, 1959, **29**, n° 3, 292-293.
- [3] WILLIAMS (H. J.) et SHERWOOD (R. C.), *J. Appl. Physics*, 1957, **28**, n° 5, 548-555.
-