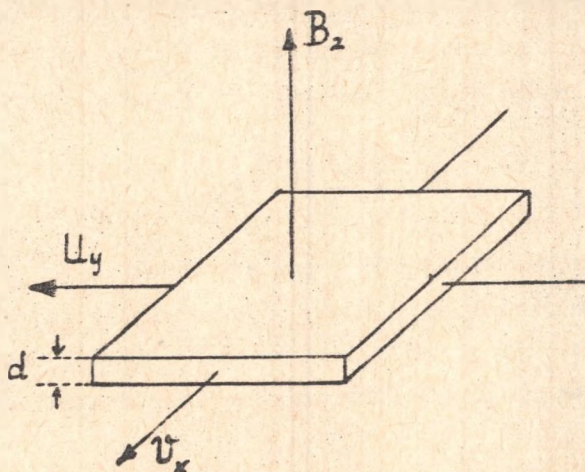


SŁAWOMIR KOŃCZAK  
Katedra Fizyki Technicznej  
Politechniki Śląskiej

O SPONTANICZNYM ZJAWISKU HALLA  
W CIENKICH WARSTWACH STOPÓW FeCr

**Streszczenie.** Przebadano zachowanie się spontanicznego współczynnika Halla dla cienkich warstw stopów Fe-Cr, naporowanych w wysokiej próżni. Wykazano, że współczynnik ten zależy od grubości warstwy oraz od jej technologicznej obróbki w czasie naporowania w próżni.

Efektom Halla nazywamy zjawisko magnetoelektryczne powstające w foliach przez które płynie prąd elektryczny a umieszczonych w polu magnetycznym rys. 1. Jeżeli indukcja pola magnetycznego  $B_z$  jest prostopadła do kierunku ruchu ładunków elektrycznych wtedy powsta-



Rys. 1

je siła elektromotoryczna prostopadła do "B" oraz "i" zgodnie ze wzorem

$$U_H = R_H \frac{B \cdot i}{d} \quad (1)$$

gdzie stała Halla  $R_H$  jest dla metali litych równa  $(ne)^{-1}$ . Okazuje się, że lepiej korzystać z innej postaci równania (1), którą można otrzymać drogą prostych przeliczeń

$$\rho_{xy} = R_H B_z \quad (2)$$

gdzie

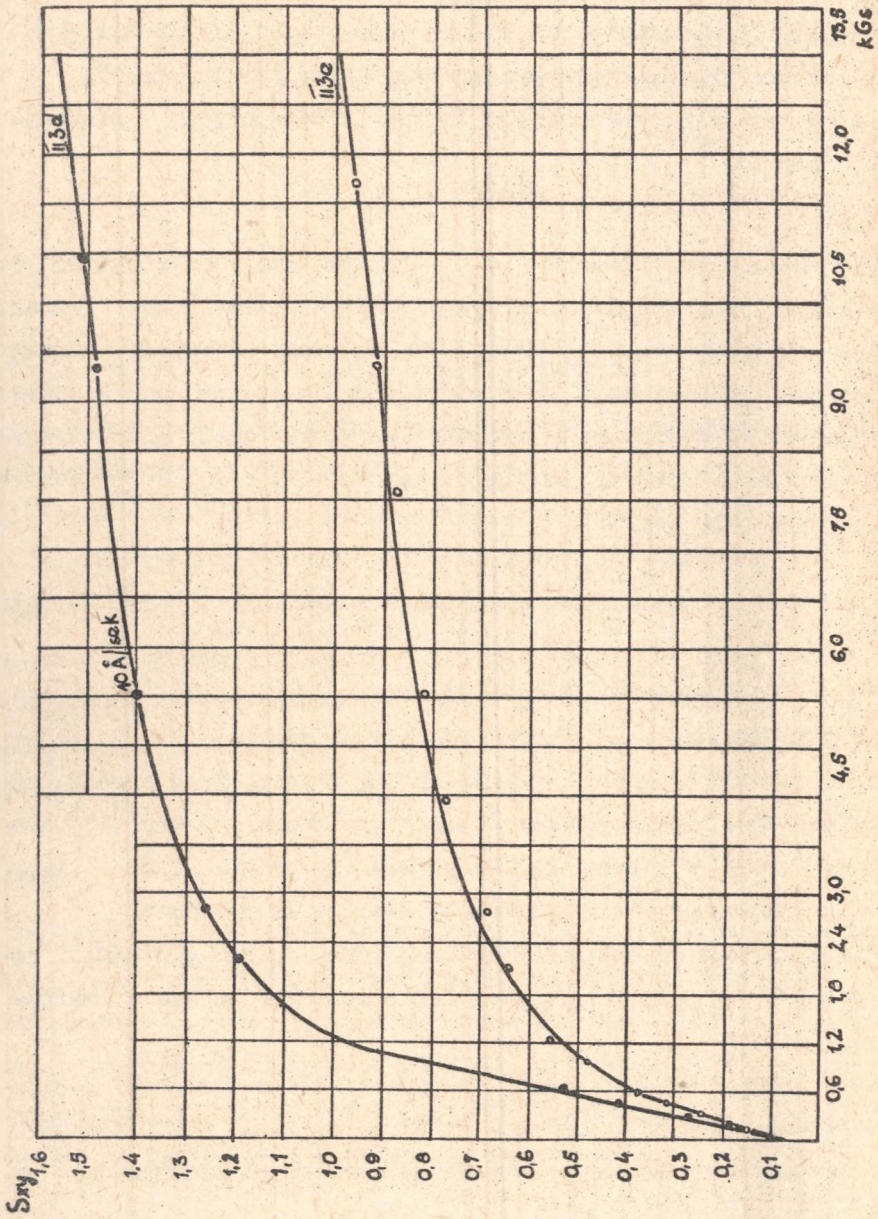
$$\rho_{xy} = \frac{E_y}{J_x}$$

Ponieważ dla ciał ferromagnetycznych, do których należą w zasadzie wszelkie stopy FeCr, oprócz fazy  $\sigma$  tegoż stopu, która może wystąpić w szczególnych warunkach przy składzie 50 - 50,  $B = \mu_0 H + N$  normalne zjawisko Halla przechodzi w zjawisko anormalne, które cechuje nieliniowa zależność  $\rho_{xy}$  od natężenia pola zewnętrznego (rys. 2). Zamiast więc stałej Halla  $R_H$  wprowadzamy dwie stałe zwyczajną  $R_0$  której sens jest identyczny ze stałą  $R_H$  ze wzoru (1) i spontaniczną stałą Halla  $R_S$ , tak że wzór (2) przyjmuje postać

$$\rho_{xy} = R_0 \mu_0 H + R_S N \quad (3)$$

Jak wykazuje większość autorów i pomiary własne [1, 2, 3, 4, 7] w obszarze małych pól  $R_S \gg R_0$  (rys. 2). Jednak dla cienkich warstw problem stałych Halla w ogóle jest bardziej skomplikowany co można pokrótce wykazać wychodząc z równania transportu Boltzmana [8, 9]

$$\frac{f - f_0}{\tau} = \frac{F}{\hbar} \nabla_k f + V \nabla_r f \quad (4)$$



Rys. 2.

gdzie:

- $f$  - funkcja rozkładu stamu zaburzonego układu elektronów przewodnictwa podlegającego działaniu siły zewnętrznej  $F$ ,
- $f_0$  - funkcja rozkładu Fermiego Diraca danego układu niezaburzonego,
- $V$  - prędkość ruchu nośników.

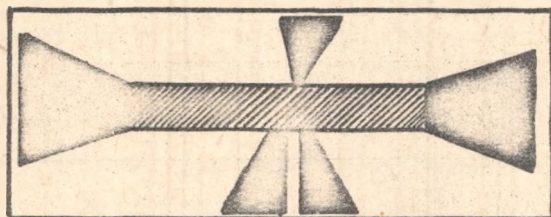
Dla kryształu jednorodnego  $\nabla_{\mathbf{r}} f = 0$  ponieważ funkcja rozkładu  $f$  nie zależy w takim przypadku od współrzędnych przestrzeni. Jednak dla cienkich warstw o grubościach około kilkuset angstromów zanika jednorodność skutkiem tego, że średnia droga swobodna elektronów przewodnictwa bywa dłuższa od grubości warstwy. Jeżeli grubość warstwy przyjmiemy w kierunku osi "z" (rys. 1) wtedy  $\nabla_{\mathbf{r}} f = \frac{\partial f}{\partial z}$  i równanie (4) przyjmie postać

$$-\frac{f - f_0}{\tau} = \frac{F}{\hbar} \nabla_k f + v_z \frac{\partial f}{\partial z} \quad (5)$$

Obliczając dla niedużych zaburzeń pierwsze przybliżenie  $f$  i następnie podstawiając za  $F$  - siłę Lorentza otrzymujemy na  $R_H$  inną zależność aniżeli we wzorze (1) dla metali litych, przy czym  $R_H$  zależy od warunków brzegowych narzuconych grubością warstwy (10). Analogicznie więc i  $R_0$  oraz  $R_S$  we wzorze (3) będzie miało inny sens dla cienkich warstw w których te staże były mierzone.

W niniejszej pracy zostaną pokazane jedynie pewne przesłanki doświadczalne których głębsze uzasadnienie zostanie podane w następnej pracy.

Badano cienkie warstwy stopów Fe 90 - Cr 10 naporowanych w próżni  $10^{-5}$  Tr na szkła BK7. Grubości warstw wahały się od 70 Å - 1000 Å. Warstwy naporowywano przez specjalne maskownice na uprzednio założone elektrody srebrne rys. 3. Do elektrod srebrnych dolutowano specjalnym niskotopliwym stopem przewody które podłączono do wzmacniacza fotoelektrycznego o dużej oporności wejściowej którym mierzone napięcie Halla. (Układ pomiarowy w pracy 2).



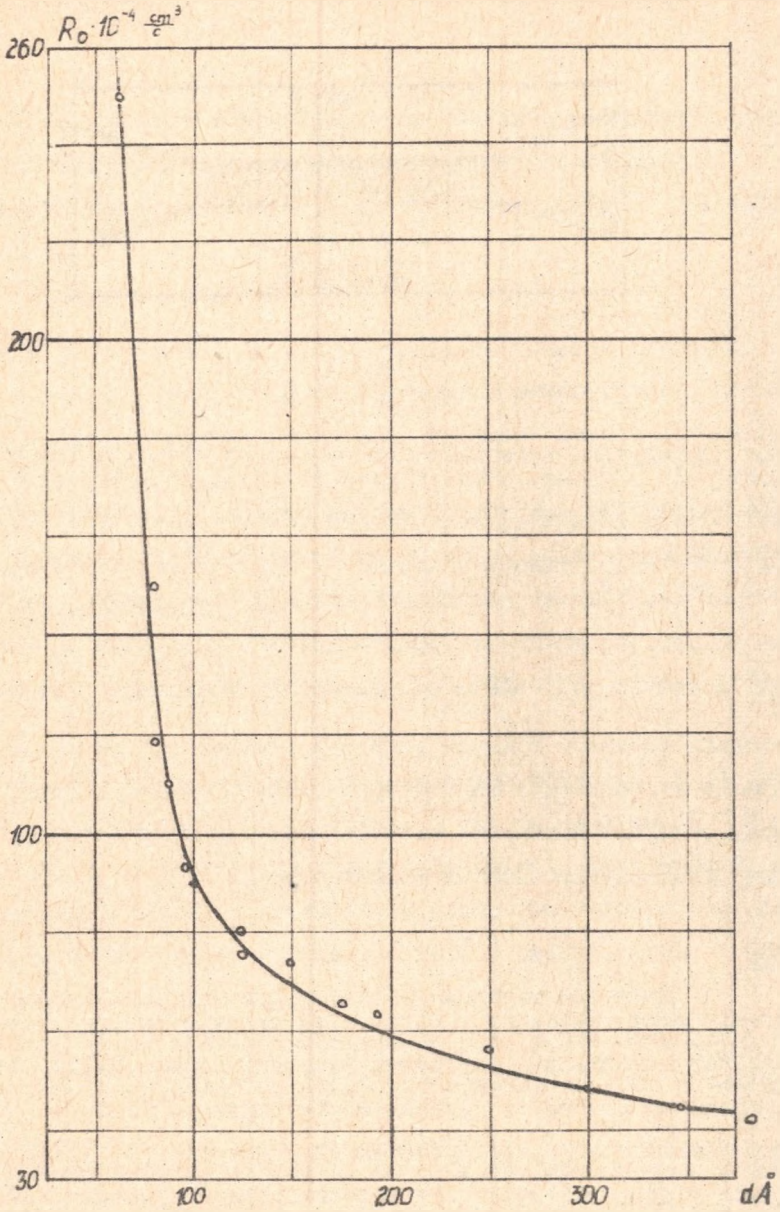
Rys. 3

Pole magnetyczne zmieniało się od 0-1,6  $\left[ \frac{V \cdot s}{m^2} \right]$  (16 kGs). Tak duże pola dawały dla wszystkich próbek nasycenie magnetyczne. Zależność zwyczajnej stałej Halla od grubości cienkich warstw pokazano na rys. 4. Wykresy dla innych składów procentowych były w zasadzie podobne do podanego. Spontaniczna stała Halla  $R_s$  była mierzona dla małych pól daleko od nasycenia. Obliczono stosunek  $\frac{R_s}{R_0}$  dla różnych próbek i różnych grubości i wahał się on od 24-73.

Zdjęcia wykonane pod mikroskopem elektronowym wykazały, że ten stosunek osiągał największe wartości dla warstw najcieńszych i najbardziej gruboziarnistych (zdefektowanych).

### Wnioski

Badania przeprowadzone w niniejszej pracy wykazują występowanie szczególnej wrażliwości ferromagnetycznego efektu Halla dla cienkich warstw na grubość i zdefektowanie warstwy. Jest to potwierdzeniem niektórych hipotez stawianych w pracach [1, 3, 5, 6]. Według tych hipotez występowanie spontanicznego zjawiska Halla związane jest z asymetrycznym rozpraszaniem elektronów przewodnictwa na fononach i defektach sieci, przy czym wpływy oddziaływań spin orbita są dla tego efektu znikome.



Rys. 4

Jednak równanie transportu (4) jak i obliczone z niego  $R_0$  i  $R_s$  są słuszne przy założeniu jednorodności samej warstwy. Obserwacje pod mikroskopem elektronowym pokazują, że tak wcale nie jest. Warstwa składa się z dużej liczby małych wysepek, połączonych ze sobą mostkami których wielkości są zależne od technologii wykonania cienkiej warstwy i rodzaju podłoża. Ta wysepkowość stwarza dodatkowe utrudnienia do teorii omawianego zjawiska i wymaga zupełnie osobnego omówienia.

## LITERATURA

- [1] Smit J., Physica XXI 11, 1955.
- [2] Kończak S., Praca doktorska, Wrocław - Politechnika, 1964.
- [3] Karpulus R., Luttinger J.M., Phys. Rev. 95, 1154, 1954.
- [4] Biełow K.P., Swirina E.P., Usp. Fiz. N. 96 z. 1, 21, 1968.
- [5] Gurewicz L.E., Jascewicz J.N., Fiz. Tw. Tiek. 5 nr 9, 2620, 1963.
- [6] Kondorskij E.J., Czeremuszkina A.W., T.T.T. 6 No 539, 1964.
- [7] Kończak S., Proc. of the Coll on Thin films, Budapest, 113, 1965.
- [8] Iewine S.N., Fizyka kwantowa w elektronice, PWN Warszawa, s. 158, 1968.
- [9] Mayer H., Physik Dünner Schichter, T. II Wissenschaftlicher Verlag, Stuttgart, s. 211, 1955.
- [10] Tabger B.A., Demickowskij W.J., Ust. fiz. No 98, z. 1, s. 61, 1968.

## СПОНТАННЫЙ ЭФФЕКТ ХОЛЛА В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ СПЛАВА FeCr

## Резюме

Проведено исследование спонтанного коэффициента Холла для тонких пленок сплава FeCr напыленных в высоком вакууме.

Показано, что этот коэффициент зависит от толщины пленки и ее технологической обработки во время напыления в вакууме.

## SPONTANEOUS HALL EFFECT IN THIN LAYERS OF Fe Cr ALLOYS

## Summary

Behavior of the spontaneous Hall coefficient for the thin films Fe-Cr alloys prepared in the high vacuum was investigated. It was shown, that Hall coefficient is dependent on the thickness of the film, and its treatment technology in the process of "evaporation".