

О МАГНИТНОМ ПРОБОЕ В Ве. ЭФФЕКТ ДЕ ГААЗА – ВАН АЛЬФЕНА (дГВА)

Н.Е.Алексеевский, В.С.Егоров

Как уже сообщалось [1, 2], поведение магнитосопротивления B_e в больших магнитных полях, а именно, резкое увеличение его анизотропии и осцилляции сопротивления типа Шубникова – де Гааза большой амплитуды, объяснялось магнитным пробоем между второй и третьей зонами в гексагональной плоскости. В работе Вотса [3], в которой подробно исследовался эффект дГВА в Ве, уже отмечалось при $\vec{H} \parallel [0001]$ отклонение от зависимости, предсказываемой формулой Лифшица и Косевича [4], что также связывалось автором с магнитным пробоем в гексагональной плоскости. Представляло интерес провести эксперименты на Ве в бóльшей области магнитных полей.

Измерения амплитуды дГВА-осцилляций проводились в импульсных магнитных полях подобно тому, как это было описано Шенбергом [5]. Переменный сигнал с баллистических катушек, которые были скомпенсированы относительно наводки от внешнего импульса поля, подавался непосредственно на вход широкополосного усилителя. Чтобы устранить наводку в момент поджига игнитрона и начала импульса поля, вход усилителя в это время был замкнут накоротко. С выхода усилителя сигнал подавался на вертикальный усилитель осциллографа с запоминающей трубкой. Развертка изображения осуществлялась сигналом, пропорциональным магнитному полю. Этот сигнал снимался с сопротивления $0,1 \text{ ом}$, включенного последовательно с импульсным соленоидом, и после соответствующего усиления подавался на горизонтальные пластины осциллографа. Последовательно с этим сигналом на вход усилителя можно было подавать постоянное напряжение смещения, которое давало возможность начинать развертку с любого значения поля, и опорное напряжение, которым либо устанавливались калибровочные метки поля, либо непосредственно измерялось напряжение, соответствующее тому или иному положению луча на экране. Величина опорного напряжения измерялась цифровым вольтметром.

Измерения были проведены на двух гексагональных образцах Ве. Образец Ве- I вырезан электроискровым методом из кристаллита Ве, из которого были вырезаны образцы для прежних гальваномагнитных измерений [1, 2]. Образец имел длину 1 мм и поперечное сечение $0,2 \times 0,3 \text{ мм}^2$. Отношение сопротивлений для всех образцов из этого

кристаллита $\rho_{300} / \rho_{4,2} \approx 130$. Образец Ве-II был отрезан (тем же способом) от тонкого монокристаллического "уса"¹⁾, длина его была также 1 мм, а поперечное сечение имело форму шестиугольника, расстояние между противоположными гранями 0,3 мм, $\rho_{300} / \rho_{4,2} = 1400$.

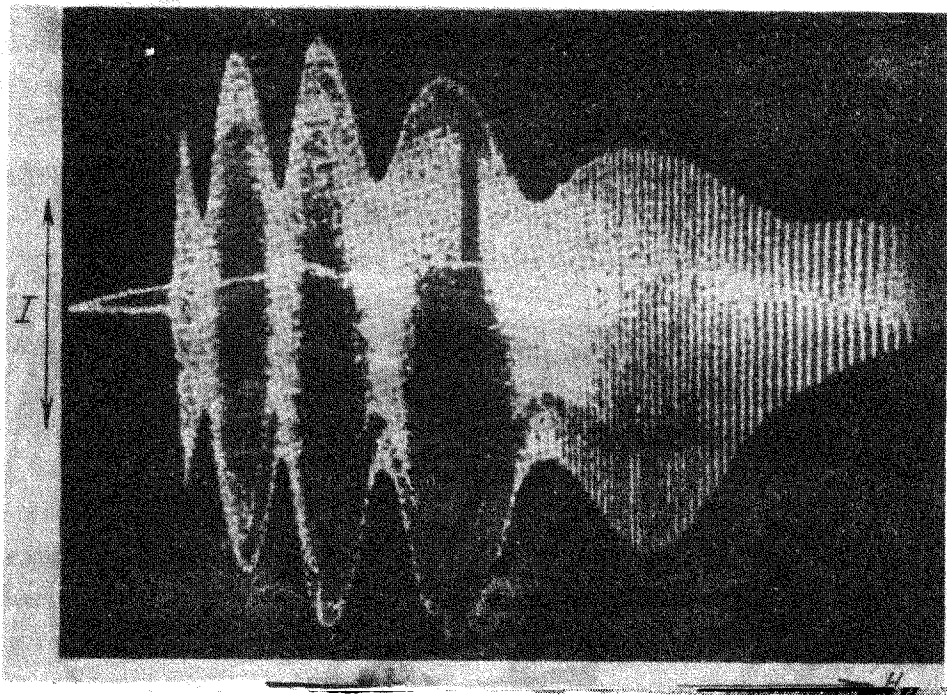


Рис. 1. Осциллограмма сигнала с баллистических катушек, соответствующего дГВА-осцилляциям восприимчивости на образце Ве-II в направлении $H \parallel [0001]$ при $T = 4,2^\circ\text{K}$. Бьения обусловлены наличием двух близких частот от центрального и нецентрального сечения сигары

Интенсивность снимаемого с баллистической катушки сигнала

$$I \sim \frac{dM}{dt} \sim \frac{\partial M}{\partial H} \frac{dH}{dt}.$$

Для случая магнитных полей, малых по сравнению с полем вырождения F (F – магнитная частота осцилляций дГВА) при не слишком низких температурах, когда

$$\pi^2 k T m^* / \mu_B H m_0 \geq 1$$

хорошо выполняется приближенное соотношение

$$IH^2/t \sim \exp\left(-\frac{\pi^2 k(T+X)m^*}{\mu_B H m_0}\right) \cos \frac{2\pi E}{H}$$

¹⁾ Авторы весьма признательны И.Е. Вилькомирскому за любезно предоставленные "усы" бериллия.

(получающееся дифференцированием в формуле Лифшица – Косевича только косинусоидального члена). Здесь l – интенсивность принимаемого сигнала, H – магнитное поле, $f = F(dH/dt)/H^2$ – временная частота осцилляций, k – постоянная Больцмана, μ_B – магнетон Бора, m^*/m_0 – отношение эффективной массы электрона к свободной, T – абсолютная термодинамическая температура и X – "температура" Дингла, такая, что

$$\pi^2 k X m^* / \mu_B H m_0 = \pi / \omega \tau,$$

где ω – циклотронная частота и τ – время релаксации. В нашем случае $T = 4,2^\circ\text{K}$, m^*/m_0 для сигары в направлении [0001] по данным [3] равно 0,16.

На обоих образцах отчетливо наблюдались дГВА-осцилляции (см. рис. 1). Максимум амплитуды соответствует сумме, а минимум – разности амплитуд от центральной и нецентральной орбиты. Величины основной частоты и частоты биений по нашим измерениям составили соответственно $9,9 \pm 0,3 \cdot 10^6$ э и $2,85 \pm 0,15 \cdot 10^5$ э, что полностью совпадает с результатами работы [3]. Результаты измерений амплитуды представлены на рис. 2. На графике отложены значения $\lg|H^{1/2}/f$ как функции от обратной величины магнитного поля. Погрешность при измерении амплитуды дГВА-осцилляций составляла $15 + 20\%$. Она была обусловлена в основном неточностью при определении производной dH/dt . Из результатов измерений хорошо видно, что наклон у всех кривых приблизительно одинаков. Факторы Дингла X для первого и второго образцов оказались соответственно 2,4 и $2,3^\circ\text{K}^1$). Такое совпадение для двух образцов со столь разным отношением сопротивлений (130 и 1400) можно объяснить тем, что "ус", по-видимому обладает своего рода нитевидной структурой²⁾ вдоль гексагональной оси, которая приводит к анизотропии длины свободного пробега. (Этим же обстоятельством можно объяснить и тот факт, что интенсивность дГВА-осцилляций от "уса" несколько больше, нежели от образца Ве-I).

Для обоих образцов хорошо заметна разница в поведении амплитуды дГВА-осцилляций от центральной и нецентральной орбиты. Если согласно Пиппарду [6] (и как это наблюдалось на чистом диаме [7]) считать,

¹⁾ В [3] фактор Дингла, по-видимому, в 2 раза больше.

²⁾ Это предположение основано как на визуальных наблюдениях, так и на рентгенографических данных.

что магнитный пробой приводит к дополнительному фактору в выражении для амплитуды $[1 - \exp(H_0/H)]^{3/2}$, и зависимость амплитуды от поля в отсутствии магнитного пробоя для центрального сечения была

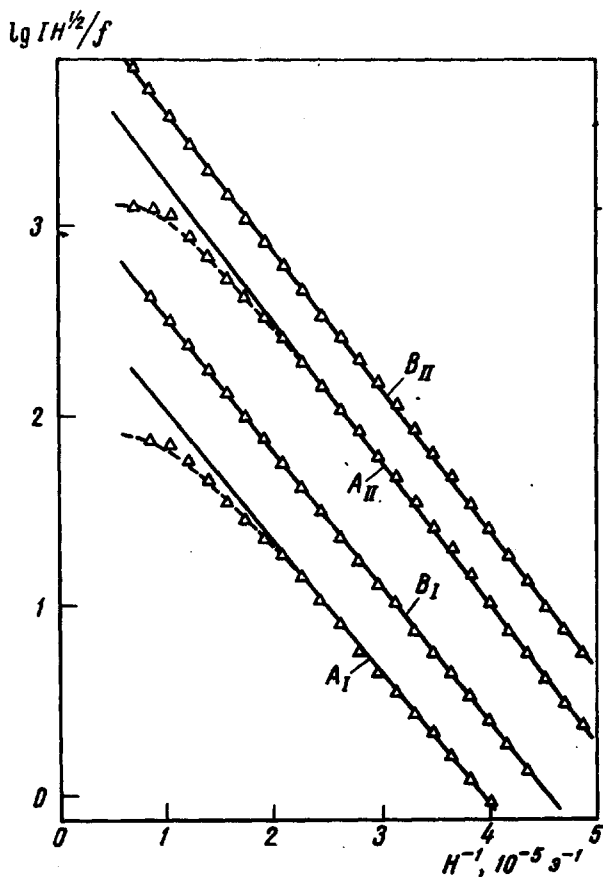


Рис.2. Изменение $\lg |H^{1/2}/f|$ в зависимости от величины обратного магнитного поля, A_I и B_I — в зависимости соответственно для центральной и нецентральной орбиты на образце Be-I. A_{II} и B_{II} — тоже для образца Be-II¹⁾. Для удобства кривые вертикально сдвинуты. Пунктир соответствует учету магнитного пробоя фактором Пиппарада $[1 - \exp(-H_0/H)]^{3/2}$, где $H_0 = 130$ кэ

бы подобна зависимости для нецентрального сечения, то можно приблизительно оценить величину параметра пробоя H_0 . Значение $H_0 \sim 130$ кэ

¹⁾ Точка в A_{II} для $H = 145$ кэ получена из экспериментального значения суммы амплитуд и экстраполированного значения для B_{II} .

(см. рис. 2) хорошо согласуется с картиной магнитного пробоя, следующей из данных по измерению магнитосопротивления¹⁾ [2].

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
16 июля 1968 г.

Литература

- [1] Н.Е.Алексеевский, В.С.Егоров. ЖЭТФ, 46, 1205, 1964.
- [2] Н.Е.Алексеевский, В.С.Егоров. ЖЭТФ, 55, вып.10, 1968.
- [3] В. R. Watts, Proc. Roy. Soc., A282, 521, 1964.
- [4] И.М.Лифшиц, А.М.Косевич. ЖЭТФ, 29, 730, 1955.
- [5] D. Shoenberg. Proc. Phys. Soc., A79, 1, 1962.
- [6] A. B. Pippard. Phil. Trans. Roy. Soc. (London), A256, 317, 1964.
- [7] R. J. Higgins, J. A. Marcus. Phys. Rev., 161, 589, 1967.

¹⁾ Как уже отмечалось в [2], в работе [1] неверно указана азимутальная ориентация образца. Минимум сопротивления наблюдается при $H \parallel [0001]$.