

В. ПРУЖИНИНА-ГРАНОВСКАЯ

ГАЛЬВАНО-МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ДИЭЛЕКТРИКЕ (СЛЮДА)

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 25 X 1938)

1. Установлено, что у диэлектриков в сильных электрических полях появляется электронная проводимость⁽¹⁾. С наличием последней связано существование гальвано-магнитных эффектов, хорошо известных у металлов, полупроводников и у изолирующих кристаллов при фотопроводимости⁽²⁾.

Целью данной работы было обнаружить эти эффекты у диэлектрика (слюды) в условиях существования темновой электронной проводимости.

2. Поперечный гальвано-магнитный эффект—Hall-эффект—определялся по компенсационной схеме с электрометром или, в известных условиях, с помощью гальванометра. Образец составлялся из двух пластинок толщиной в 8—12 μ каждая. На одну поверхность первой пластинки был нанесен небольшой платиновый, прямоугольный, токоподводящий электрод. На другую поверхность были нанесены два Hall-электрода в виде тончайших и узких полосок платины. Вторая пластинка имела только один прямоугольный электрод, служивший вторым токоподводящим электродом. Электроды наносились катодным распылением. Пластины складывались так, чтобы Hall-электроды оказывались внутри. Образец монтировался на полированной кварцевой пластинке и помещался в печь, находившуюся между полюсами электромагнита.

Вследствие того, что в условиях диэлектрика поставить Hall-электроды точно по эквипотенциальной поверхности невозможно, появляющуюся разность потенциалов приходилось компенсировать (напряжение компенсации составляло 20—80 V). Это обстоятельство имело следствием то, что на Hall-эффект мог накладываться продольный эффект, т. е. эффект изменения сопротивления при включении магнитного поля.

Hall-эффект у слюды был наблюден в полях порядка 10^5 V/cm при температуре $\sim 350^\circ$. Он был обнаружен одновременно с продольным эффектом и проявился в большой асимметрии продольного эффекта, как известно не меняющего знака с изменением знака магнитного поля. По величине Hall-эффект оказался порядка 10^{-3} — 10^{-4} V.

Величина эффекта позволяла проводить измерения только с помощью гальванометра. Возможность пользоваться последним появляется в условиях, при которых электропроводность становится порядка $10^{-8}\Omega^{-1}$. Эти условия для слюды имеют место при температуре $\sim 350^\circ$. В силу этого изучение зависимости Hall-эффекта от поля и температуры потребовало бы

проведения эксперимента в интервале высоких температур. Этому препятствует ионная проводимость, которой в этих условиях уже нельзя пренебрегать (особенно в области более слабых полей)*. Поэтому зависимость от поля и температуры могла быть исследована лишь для продольного эффекта.

3. Методика определения продольного гальвано-магнитного эффекта состояла в следующем. Кристалл слюды монтировался на кварцевой пластинке и помещался между полюсами электромагнита. На кристалл и последовательно с ним включенное сопротивление r накладывалось постоянное напряжение в 100—1000 В. При включении магнитного поля сопротивление кристалла возрастало, вследствие чего менялось распределение напряжений между ним и постоянным сопротивлением r . Это изменение фиксировалось или электрометром, или гальванометром по мостиковой схеме, в зависимости от сопротивления образца, определяемого температурой.

Сопротивление r , так же как и остальные сопротивления, входившие в схему моста, представляло собою магазины сопротивлений в несколько мегом. Величина эффекта, характеризуемая отношением $\frac{\Delta R}{R}$, где R — сопротивление кристалла без магнитного поля и ΔR — приращение сопротивления при включении магнитного поля, определялась по формуле:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{V}{V - V'} \cdot \frac{\Delta V}{V' - \Delta V}$$

Здесь V — потенциал общей точки батареи и кристалла, т. е. напряжение в цепи $R + r$ (один полюс батареи и один конец сопротивления r заземлены); V' — потенциал общей точки кристалла и сопротивления r ; ΔV —

Таблица 1

H эрстед	$\frac{\Delta R}{R}$	$\frac{\Delta R}{R}$ H^2
3 690	$1.36 \cdot 10^{-4}$	$1.00 \cdot 10^{-11}$
4 670	$2.075 \cdot 10^{-4}$	$0.95 \cdot 10^{-11}$
5 770	$3.38 \cdot 10^{-4}$	$1.01 \cdot 10^{-11}$
7 290	$5.16 \cdot 10^{-4}$	$0.97 \cdot 10^{-11}$
8 020	$6.62 \cdot 10^{-4}$	$1.03 \cdot 10^{-11}$
8 520	$8.50 \cdot 10^{-4}$	$1.17 \cdot 10^{-11}$

изменение потенциала той же точки при включении магнитного поля.

4. Продольный гальвано-магнитный эффект в слюде был обнаружен в полях порядка 10^5 В/см и в интервале температур 125—355°. Он обратимо менялся с магнитным полем и не обнаруживал запаздывания по отношению к полю.

Была исследована зависимость этого эффекта от трех факторов: а) напряженности магнитного поля, б) температуры и в) напряженности электрического поля.

а) Зависимость продольного эффекта от напряженности магнитного поля в интервале 2 000—8 500 эрстед оказалась удовлетворяющей соотношению $\frac{\Delta R}{R} = B \cdot H^2$, где B — константа. Эта зависимость, имеющая место и для металлов, выполняется у слюды во всем интервале температур, в котором проводились измерения эффекта (125—355°).

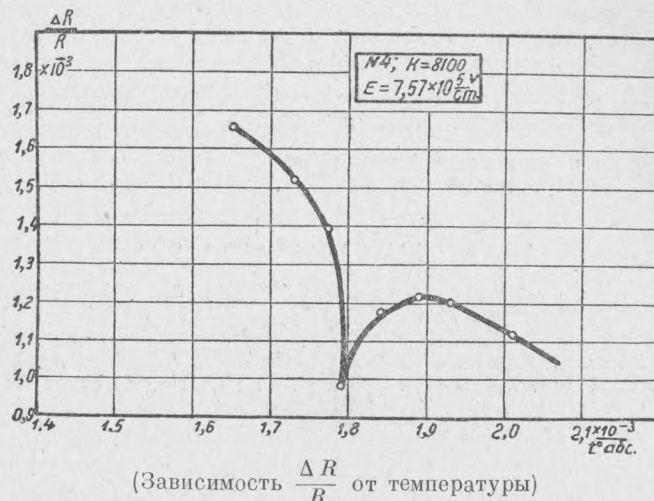
Соответствующие данные для случая: $t = 303^\circ$, $E = 6.89 \cdot 10^5$ В/см, представлены в табл. 1.

Поведение кривой в более сильных магнитных полях не было исследовано.

б) Типичная зависимость $\frac{\Delta R}{R}$ от температуры при постоянных магнитном ($H = 8 100$ эрстед) и электрическом ($E = 7.57 \cdot 10^5$ В/см) полях

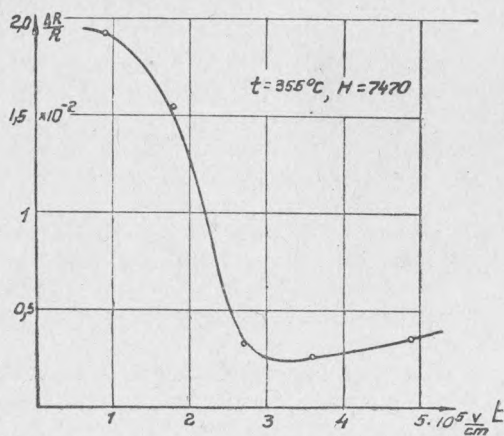
* Отметим кстати, что проведение этих опытов при температуре $\sim 350^\circ$ очень затруднительно.

представлена на фиг. 1. Излом кривой соответствует температуре около 285°. Такие же кривые получены и при других значениях напряженности электрического поля.



Фиг. 1.

в) Зависимость $\frac{\Delta R}{R}$ от напряженности электрического поля при постоянном магнитном поле и постоянной температуре представлена на фиг. 2. Мы видим, что вначале $\frac{\Delta R}{R}$ быстро уменьшается,



Зависимость продольного гальваномагнитного эффекта от напряженности электрического поля.

Фиг. 2.

однако дальнейшее увеличение поля влечет за собою более медленное возрастание эффекта. Напряженность поля, соответствующая минимуму кривой, зависит от темпера-

Таблица 2

$t, ^\circ\text{C}$	$E_{\text{min}}, \text{V/cm}$
126	$> 10 \cdot 10^5$
270	$4.75 \cdot 10^5$
305	$4.25 \cdot 10^5$
355	$3.15 \cdot 10^5$

туры и по мере увеличения последней перемещается в сторону слабых полей (табл. 2).

5. По теории гальвано-магнитных явлений у металлов ^(3,4) величина продольного эффекта для случая связанных электронов больше, чем для случая свободных электронов. Для последних в первом приближении эффект равен нулю ⁽⁴⁾. Квантовые теории изолирующей решетки ^(5,6,7) дают основания считать, что в кристаллических диэлектриках

будет иметь место то же самое. Поэтому сравнительно большая величина продольного эффекта у слюды (10^{-2} — 10^{-3}) наряду с малой величиной Hall-эффекта позволяет сделать вывод о том, что в слюде проводимость осуществляется связанными электронами.

Экспериментальные кривые фиг. 1 и 2 до некоторой степени позволяют сделать выводы относительно изменения концентрации и подвижности электронов проводимости с полем и температурой. Эти результаты будут опубликованы дополнительно.

Лаборатория неорганической изоляции.
Всесоюзный электротехнический институт.

Поступило
26 X 1938.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П р у ж и н и н а-Г р а н о в с к а я, ЖЭТФ, **7**, 506 (1937). ² И о ф ф е, «Электронные полупроводники», ГТТИ (1933). ³ F r a n k, ZS. f. Phys., **64**, 650 (1930). ⁴ Б е т е и З о м м е р ф е л ь д, «Электронная теория металлов», ОНТИ (1938). ⁵ W i l s o n, Nature, **130**, 913 (1932); Proc. Roy. Soc. A., **133**, 458 (1931); Proc. Roy. Soc. A, **134**, 277 (1931). ⁶ P e i e r l s, Erg. d. exakt. Naturwiss., **XI**, 265 (1932). ⁷ B l o c h, Phys. ZS., **32**, 881 (1931).