

ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ВБЛИЗИ ОБЩЕЙ ГРАНИЦЫ
БИКРИСТАЛЛОВ ЦИНКА*Г.И.Кулеско*

Исследовано распределение напряженности электрического поля у общей границы бикристаллов цинка в присутствии внешнего магнитного поля \mathbf{H} и при $H = 0$. В сильном магнитном поле длина переходного участка оказалась много больше размеров ларморовских орбит носителей.

В отсутствие внешнего магнитного поля сопротивление перпендикулярной к направлению электрического тока \mathbf{j} границы двух кристаллов должно являться причиной возникновения скачка электростатического потенциала. Если кроме электрического имеется магнитное поле $\mathbf{H} (\mathbf{H} \perp \mathbf{j})$, в бикристалле создается противоположная ситуация — область вблизи границы теперь уже может быть участком повышенной проводимости из-за увеличенной по сравнению с внутренним объемом частоты столкновений электронов. Наблюдение таких эффектов и явилось целью данной работы.

Нами исследовано изменение проводимости бикристаллов цинка вблизи межкристаллитных границ общего типа, отвечающих повороту и наклону второго кристалла относительно первого, и, вероятно, рассеивающих электроны диффузно. Еще одним обстоятельством, которое необходимо учитывать, является резко выраженная анизотропия гальваномагнитных свойств цинка. В магнитном поле сопротивления правого и левого кристаллов могут оказаться различными. В результате, у границы бикристалла образуется область некоторой толщины, в которой проводимость зависит как от рассеяния электронов самой границей зерна, так и от значений компонент тензора сопротивлений в первом и втором кристаллах.

Распределение потенциала в таком переходном слое изучалось при 4,2К в образцах цилиндрической формы. Измерения выполнены у пяти бикристаллов. Длина образцов 15 — 17 мм, ϕ 2,5 мм. Отношение сопротивлений $\Gamma_{290\text{К}}/\Gamma_{4,2\text{К}}$ различных образцов от $1 \cdot 10^4$ до $2,5 \cdot 10^4$. Все бикристаллы, за исключением пятого образца, были получены в результате отжига в течение 6 часов при 400°C мелкозернистых отливок, изготовленных заполнением расплавом цинка графитового капилляра. Образец ZnV изготовлен кристаллизацией расплава в капилляре. Граница располагалась в центральной части бикристалла приблизительно перпендикулярно его оси. Разность потенциалов в точках крепления контактов (потенциальные контакты — проволока из бериллиевой бронзы ϕ 50 мк) измерена фотоэлектрическим усилителем Ф-118. Расположение контактов показано на вставке рис. 1.

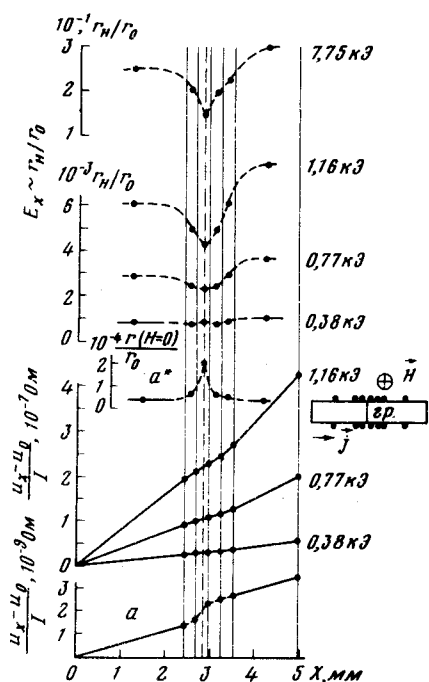


Рис. 1. Распределение потенциала U_x и продольной компоненты электрического поля E_x вблизи границы бикристалла ZnI, ϕ 2,5 мм. Для крайних интервалов $r_0/r_{4,2\text{К}} = 2,5 \cdot 10^4$. Вертикальным пунктиром показано положение границы; вертикальными линиями — позиции потенциальных контактов. Схема расположения контактов дана на вставке. I — полный ток, протекающий через образец. Ориентация кристаллов: оси C_6 правого и левого кристаллов приблизительно параллельны плоскости контакта зерен, а угол между их базисными плоскостями равен 66° . a — Скачок потенциала у границы раздела зерен при 4,2К и $H = 0$

Если ось x направить вдоль образца (магнитное поле параллельно z), то результаты измерений можно представить либо в виде функции от x разности потенциалов (отсчет начинается от крайнего контакта), т. е. дать непосредственно распределение U_x в приконтактной области, либо — как функцию от x производной от потенциала, т. е. E_x в виде зависимости от x продольной компоненты электрического поля в образце. Последняя величина пропорциональна измеряемому в эксперименте отношению сопротивлений r_H/r_0 участков, расположенных между соседними контактами, так как r_H — сопротивление в поле H и r_0 — электросопротивление при 290К и $H = 0$ соответственно пропорциональны разности потенциалов и расстоянию между двумя точками измерения U_x . Измеренное отношение r_H/r_0 пропорционально средней напряженности поля E_x в слое между двумя контактами.

В приграничной области контакты устанавливались на расстоянии 250 — 300 мк, а на всем исследовавшемся участке образца длиной около 5 мм r_H/r_0 измерялось в шести интервалах. Этих данных достаточно для того, чтобы представить, хоть и не очень детально, ход зависимости r_H/r_0 от x .

Рис. 4 иллюстрирует поведение r_H/r_0 в приграничной области бикристалла ZnI при различном по величине поле H . Если $H = 0$, резкое падение U_x происходит в интервале, включающем границу зерна. Основное изменение U_x , связанное с присутствием границы, наблюдается на участке Δx сравнимом с длиной свободного пробега электронов. Полное изменение ΔU_x , вызванное рассеянием границей (скачок потенциала в бикристалле ZnI) позволяет вычислить соответствующую величину сопротивления

$$\frac{\rho_{\text{ГР}}}{S} = \frac{\Delta U_x}{I} = 3 \cdot 10^{-11} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2, \text{ где } \rho_{\text{ГР}} -$$

удельное сопротивление, вызванное рассеянием границей зерен, S — площадь границ в единице объема, s — площадь поперечного сечения образца, I — ток, пропускаемый через образец.

Включение магнитного поля меняет картину распределения потенциала. Как и предполагалось, область вблизи границы при достаточно большом H отвечает участку замедленного падения потенциала. Верхний ряд кривых на рис. 4 показывает как меняется ход зависимости r_H/r_0 с ростом H при такой ориентации магнитного поля, когда значения r_H/r_0 в объеме обоих кристаллов близки. Однако, полная длина, начиная от границы, области перехода к условиям, существующим в объеме, около 1 мм. На этом же расстоянии изменяется и составляющая поперечной напряженности E_y . Эта длина много больше характерных размеров ларморовских орбит электронов и дырок и не уменьшается с ростом H , тогда как представляется вероятным, что длина переходного участка и радиус ларморовской орбиты должны быть величинами одного порядка. Необходимо также отметить, что выбранная ориентация образцов при измерениях исключала перенос носителей по открытым траекториям.

Можно было бы попытаться связать присутствие широкого переходного участка с особыми условиями рассеяния в слое, прилегающем к границе. За объемные отличия проводимости у контакта могут быть ответственны упругие напряжения, возникающие при охлаждении бикристаллов, либо повышенная концентрация рассеивающих центров. Но, как установлено в [1, 2], даже сильная упругая деформация не вызывает заметного изменения магнитосопротивления цинка. Что же касается возможной пластической деформации у границы, то повторные охлаждения образцов не меняли r_H/r_0 .

Поворачивая магнитное поле в плоскости границы, удается создать такую ситуацию, когда r_H/r_0 двух кристаллов сильно отличаются. При менее резком различии в величинах магнитосопротивления на кривой имеется точка минимума, но эта точка смещена в сторону кристалла с меньшим магнитосопротивлением и не попадает в интервал, содержащий границу зерна (рис. 2, кривая III). При большой разнице в магнитосопротивлении наблюдается лишь плавный переход между соответствующими объемными значениями r_H/r_0 (рис. 2, кривая II). Интерес-

но заметить, что в последнем случае происходит рост r_H/r_0 в направлении к границе в одном из кристаллов, тогда как более интенсивное рассеяние электронов в приграничной области всегда должно вызывать уменьшение r_H/r_0 .

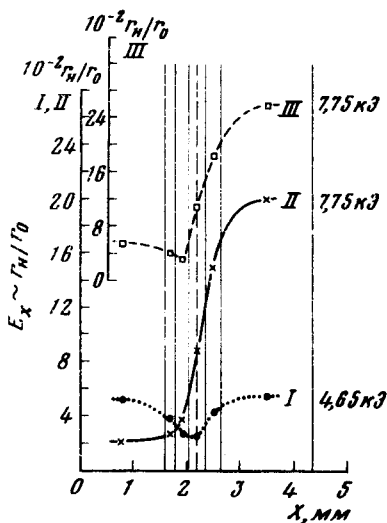


Рис. 2. Изменение распределения E_x у границы бикристалла ZnI при различных ориентациях H . Диаметр образца уменьшен до 1,5 мм. Цифрами I, II и III показаны разные ориентации бикристалла в магнитном поле. В положении II магнитное поле слабо наклонено к базисной плоскости левого кристалла

Дальнейшие опыты с бикристаллами цинка, у которых оси C_6 симметрично наклонены к поверхности раздела, либо с бикристаллами металлов кубической сингонии позволят установить роль упругих напряжений в наблюдаемом эффекте.

Автор благодарен В.Ф.Гантмахеру за полезное обсуждение работы.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
8 октября 1979 г.

Литература

- [1] Ю.П.Гайдуков, Е.С.Ицкевич. ЖЭТФ, 45, 71, 1963.
- [2.] Ю.П.Гайдуков, Н.П.Данилова, М.Б.Щербина-Самойлова. Письма в ЖЭТФ, 25, 509, 1977.