

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ
ЭЛЕКТРОАКУСТОМАГНИТНОГО ЭФФЕКТА В CdS

И. С. Раввин

Экспериментально наблюдался электроакустомагнитный эффект, состоящий в возникновении постоянного магнитного момента, при пропускании через пьезополупроводник тока. Явление связано с анизотропией диаграммы направленности излучения фононов при сверхзвуковом дрейфе носителей.

В ряде работ [1 – 3] предсказывалась возможность существования нового эффекта – электроакустомагнитного (ЭАМ), состоящего в возникновении постоянного магнитного момента у исходно однородного полупроводника, к которому приложено напряжение, превышающее некоторое пороговое значение.

Физическая причина ЭАМ следующая. В полупроводниках или полуметаллах при скорости дрейфа электронов, превышающей фазовую скорость звука, возникает генерация фононов. Нарастающие в пространстве акустические фононы оказывают обратное воздействие на стационарное состояние плазмы полупроводника, в результате чего это состояние становится существенно неоднородным по объему. Характер неоднородности целиком определяется свойствами симметрии диаграммы направленности излучения фононов, которые, в свою очередь, зависят от ориентации кристаллографических осей относительно направления дрейфа электронов. Если направления дрейфа и оси симметрии кристалла не совпадают, то характер неоднородности таков, что в токе проводимости появляется непотенциальная, т. е. вихревая компонента, которая и создает постоянный магнитный момент у образца (см. подробнее [1, 2]). В однородных образцах правильной формы магнитный момент оказывается четным относительно полярности приложенного напряжения, что физически связано с самосогласованным механизмом возникновения неоднородности [3], а математически вытекает из инвариантности аксиального вектора магнитного момента относительно операции инверсии в ограниченной среде.

Наличие порога и четность по напряжению были основными признаками, по которым предполагалось распознать искомый эффект¹⁾, а при выборе кристалла мы ориентировались на сопутствующие явления; насыщение вольт-амперной характеристики и поперечный акустоэлектрический эффект, которые возникают при тех же условиях, что и ЭАМ и ранее уже наблюдались [3]. Именно из этих соображений был выбран

¹⁾ В литературе известен так же другой механизм возникновения магнитного момента, связанный с распространением поверхностной звуковой волны – акустомагнитный эффект [5]. Он меньше ЭАМ примерно в (L/r_d) раз, т. е. порядков на шесть, и влиянием его заведомо можно пренебречь. Здесь r_d – дебаевский радиус, L – характерный размер неоднородности в ЭАМ.

однородный, фоточувствительный образец CdS с темновой проводимостью $\sigma_0 = 10^{-9} \text{ (ом} \cdot \text{см)}^{-1}$, ориентированный так, что ось C_6 была направлена под углом 60° к линиям тока. При такой ориентации, диаграмма направленности излучения поперечных акустических волн имела два несимметрично расположенных максимума при углах примерно 30° и -60° относительно линий тока [4], как это показано схематически на рис. 1.

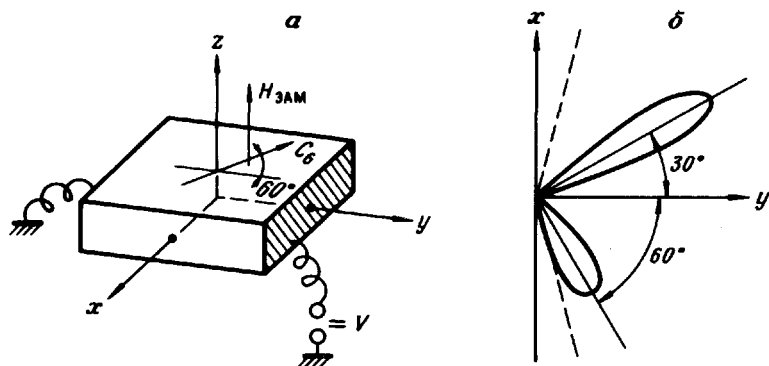


Рис. 1. а – Схема опыта, образец CdS $6 \times 7 \times 2 \text{ мм}^3$, б – диаграмма направленности излучения фононов для выбранной ориентации

В настоящем эксперименте магнитный момент фиксировался по создаваемому полю, которое измерялось холловскими датчиками. Нужная проводимость достигалась освещением кристалла проходящим светом. Опыт проводился в режиме постоянного тока в ванне с жидким азотом, что обеспечивало хороший отвод тепла от кристалла и датчиков. Сравнение импульсной и статической вольт-амперных характеристик показало, что разогрев кристалла был несущественным. Регистрируемые датчиком магнитные поля, которые возникают из-за неоднородности освещения, протекания тока по образцу или неидентичности условий отражения на боковых гранях, являются нечетными функциями тока, а первые два не имеют также и порога. Датчики были расположены таким образом, что наводка от протекающего по образцу тока отсутствовала.

На рис. 2 показаны вольт-амперные характеристики и усредненное (по нескольким опытам) магнитное поле, фиксируемое датчиком, как функции приложенного напряжения. Видно, что магнитный момент возникает сразу после отклонения тока от омического значения, т. е. с началом генерации фононов. Эта закономерность выполнялась при различных значениях проводимости образца независимо от полярности приложенного напряжения. Магнитное поле быстро нарастает с увеличением напряжения, достигает максимума, а затем медленно уменьшается, несмотря на продолжающееся увеличение тока и отклонение его от омического значения. Это объясняется, по-видимому, тем, что при малых надпороговых полях основной вклад в акустоэлектрическую силу будут давать поперечные фононы ближайшего к линиям тока максимума в диаграмме направленности, т. е. движущиеся под углом 30° . При дальнейшем росте напряжения раствор конуса генерации увеличивается

и становится существенным вклад фононов, волновые вектора которых составляют острый отрицательный угол с линиями тока. Их действие увеличивает продольную составляющую акустоэлектрической силы, способствуя дальнейшему насыщению тока, но уменьшает поперечную составляющую, от которой зависит величина и знак магнитного момента [3]. Кроме того, может начаться генерация продольных волн, которая также способствует уменьшению величины поперечной компоненты акустоэлектрической силы (возможно даже изменение ее знака с ростом напряжения).¹

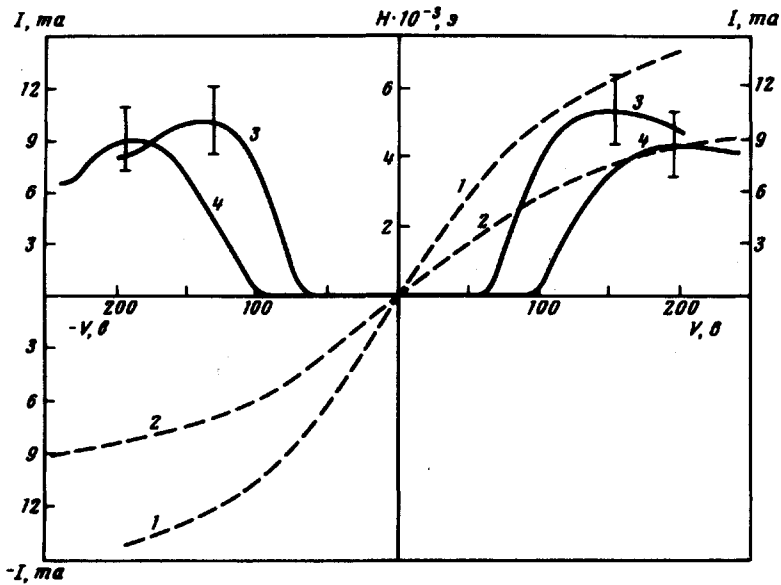


Рис. 2. 1, 3 – вольт-амперная характеристика и фиксируемое датчиками магнитное поле для $\sigma_0 = 6 \times 10^{-5} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, 2, 4 – то же для $\sigma_0 = 3 \times 10^{-5} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$

При смене полярности приложенного напряжения, знак и величина магнитного поля не менялись. Свойство четности сохранялось во всех проведенных экспериментах и, вместе с порогом, является отличительным признаком эффекта. Магнитное поле меняло знак лишь при повороте образца вокруг линий тока на 180° и происходило это потому, что при таком повороте направление поперечной составляющей акустоэлектрической силы в лабораторной системе координат менялось на противоположное.

Теоретические оценки, сделанные на основании работ [2, 3], при экспериментальных значениях тока, дают величину магнитного поля $10^{-3} - 10^{-2}$ э, что по порядку величины совпадает с полученными результатами.

Автор благодарит Ю.П.Мухортова и В.И.Пустовойта за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения.

Литература

- [1] В.И.Пустовойт, Ю.П.Мухортов. Письма в ЖЭТФ, 13, 211, 1971.
 - [2] Ю.П.Мухортов, В.И.Пустовойт. ЖЭТФ, 61, 115, 1971.
 - [3] Ю.П.Мухортов, В.И. Пустовойт, И.С.Раввин. Л.А.Чернозатонский. ФТТ, 14, 2664, 1972.
 - [4] В.И.Пустовойт, Л.А.Чернозатонский. ФТП, 6, 1311, 1972.
 - [6] Ю.В.Гуляев, А.Ю.Карабанов, А.М.Кмита, А.В.Медведь, Ш.С.Турсунов. ФТТ, 12, 2595, 1970.
-