

06.2;06.3;07;12

ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В АСИММЕТРИЧНОЙ НАНОСТРУКТУРЕ GaAs/AlGaAs ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

© И.В.Кучеренко, Л.К.Водопьянов, В.И.Кадушкин

В работе [1] впервые была высказана идея о том, что в асимметричной системе квантовых ям при освещении в магнитном поле возникает ЭДС фотогальванического эффекта. В отсутствие магнитного поля под действием циркулярно поляризованного освещения фотогальванические эффекты (ФГЭ) наблюдали в однородных кристаллах без центра симметрии [2]. Эти эффекты чаще всего обнаруживаются в сегнетоэлектриках. ФГЭ наблюдали также в полупроводниках со сложными зонами, таких как Te , $p\text{-Ge}$ и $p\text{-GaAs}$ [3]. В магнитном поле в условиях неоднородной освещенности возникает хорошо известный эффект Кикоина-Носкова [4]. Холловский ток может быть обусловлен также потенциальными барьерами, например, в области контакта металл-гетероструктура. Оба эти эффекта возможны в случае биполярной проводимости при возбуждении светом в области фундаментального поглощения, но они отсутствуют в стационарном состоянии при монополярной проводимости.

О первом экспериментальном обнаружении ФГЭ, предсказанного в [1], сообщается в работе [5]. В настоящей работе исследовались фотоэдс и фототок короткого замыкания в магнитном поле до 12 кЭ в структурах GaAs/AlGaAs с тремя квантовыми ямами $i\text{-GaAs}$ шириной 70, 60 и 54 Å, разделенному барьерами $i\text{-Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ шириной 30 и 20 Å.

Квантово-размерная система отделена от подложки GaAs (Cr) буфером $i\text{-GaAs}$ (0.5) мкм, ограничена буферными слоями $i\text{-Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ (300 Å) и заканчивается слоем $i\text{-GaAs}$ (200 Å). В качестве источника освещения использовались различные линии аргонокрептонового лазера с $\lambda = 4760 - 6470$ Å, а также лазер на иттрий-алюминиевом гранате с неодимом ($\lambda = 1.065$ мкм). Мы изучали те же структуры, что и в работе [5], но в больших магнитных полях, используя в качестве источника света генераторы когерентного излучения. Свет был направлен по оси структуры, по нормали к плоскости образца, магнитное поле прикладывалось вдоль слоев, а фототок короткого замыкания измерялся в плоскости слоев перпендикулярно направлению

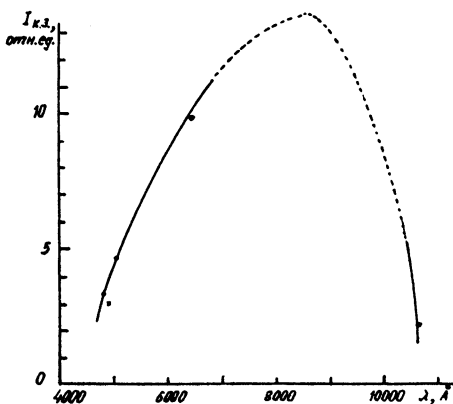


Рис. 1. Спектральная зависимость фототока короткого замыкания $I_{к.з.}$ при $T = 300$ К.

магнитного поля (вставка на рис. 3). Спектральная зависимость фототока короткого замыкания при $T = 300$ К показана на рис. 1. Учитывая экспериментальные данные работы [5], можно предполагать, что максимум $I_{к.з.}$ расположен при $\lambda = 0.86$ мкм, что соответствует ширине запрещенной зоны GaAs при $T = 300$ К ($E_g = 1.43$ эВ [6]). На рис. 2 представлены вольт-амперные характеристики при освещении структуры лазерами с длиной волны $\lambda = 6764$ А и 1.065 мкм. Мощность в обоих случаях составляла 20 мВт. Из рисунка видно, что ВАХ при освещении лазером с $\lambda = 1.065$ мкм близка к линейной, незначительные отклонения от линейности наблюдаются при $U < 0.05$ В. При освещении лазером с $\lambda = 6764$ А ВАХ существенно нелинейна. При коммутации напряжения ток не изменяет знак вплоть до $U \leq 2$ В (кривая 1). Этот результат свидетельствует о возникновении электрического поля внутри структуры при освещении све-

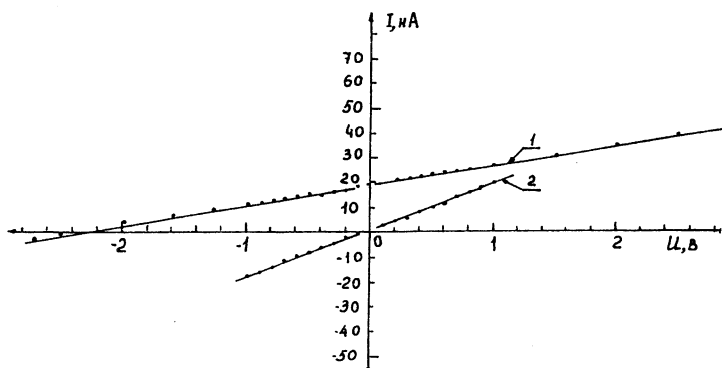


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики наноструктуры при возбуждении лазерами с $\lambda = 6764$ А и $\lambda = 1.065$ мкм при $T = 300$ К.

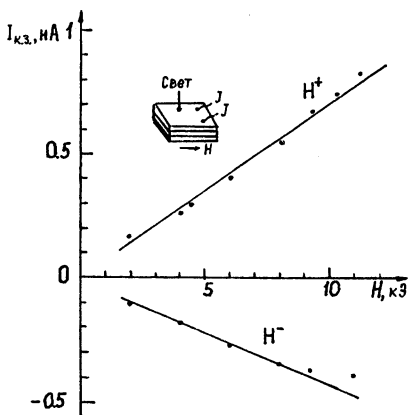


Рис. 3. Зависимость фототока $I_{к.з.}$ от напряженности магнитного поля при возбуждении лазером с $\lambda = 1.065$ мкм. Вставка — геометрия эксперимента.

том в области фундаментального поглощения и отсутствии таких полей при освещении лазером с $\lambda = 1.065$ мкм. Исследования в магнитном поле мы проводили при освещении образца лазером с $\lambda = 1.065$ мкм, работающим в квазинепрерывном режиме. Мощность излучения составляла 18 мВт, а удельная мощность $P = 0.6$ Вт/см². При такой длине волны могут возбуждаться только носители с энергетических состояний примесей и дефектов; таким образом, вклад в фототок ФЭМ эффекта исключается.

Как видно из рис. 3, фототок линейно возрастает с полем до 11 кЭ. При коммутации магнитного поля знак фототока изменяется на противоположный. Представленные здесь значения фототока равны $I_{к.з.} = I_{к.з.}(H) - I_{к.з.}(0)$. При облучении образца лазером с $\lambda = 1.065$ мкм сопротивление образца уменьшается на 2 порядка, что, очевидно, связано с возбуждением носителей примесей и дефектов. Величина $I_{к.з.}$ при возбуждении лазером с $\lambda = 1.065$ мкм того же порядка, что и в работе [5]. Это свидетельствует о том, что основной вклад в фототок в [5] вносит ФГЭ. При охлаждении структуры до азотной температуры мы также наблюдали изменение знака $I_{к.з.}$. Объяснение этого явления дано в [5].

Согласно [1] в системе с асимметричным по квазимульсу спектром плотность тока $\vec{j}_{фгэ} = \beta \vec{T}$, где β — коэффициент, обусловленный неравновесностью; \vec{T} — тороидальный момент, который индуцируется магнитным полем, $\vec{T} = [\vec{H} \vec{l}]$, \vec{l} — ось структуры. В слабых магнитных полях ток $j \cong H$, а в

сильных магнитных полях $j \cong 1/H$. Из наших результатов следует, что вплоть до $H = 12 \text{ кЭ}$ $j_{\text{фгэ}} \cong H$. Максимум зависимости $j = f(H)$ должен наблюдаться при $H \cong 40 - 50 \text{ кЭ}$.

Авторы выражают благодарность Ю.В. Копаеву и А.А. Горбацевичу за участие в интерпретации экспериментальных результатов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код 93-02-2361).

Список литературы

- [1] Горбацевич А.А., Копаев В.В., Копаев Ю.В. // Письма в ЖЭТФ. 1993. Т. 57. С. 565.
- [2] Белиничер В.И., Стурман Б.И. // УФН. 1980. Т. 130. С. 415.
- [3] Doviak I.M., Kothari S. // Proc. XII Int. Conf. on Phys. of Semicond. Stuttgart, 1974. P. 1257.
- [4] Рыбкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М.: Физматгиз, 1963. С. 371.
- [5] Алещенко Ю.А., Воронова И.Д., Гришечкина С.П. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1993. Т. 58. С. 377.
- [6] Гавриленко В.И., Грехов А.М. и др. Оптические свойства полупроводников: Справочник. Киев. Наук. думка, 1987. С. 208.

Физический институт
им. П.Н. Лебедева РАН
Москва

Научно-исследовательский
технологический институт
Рязань

Поступило в Редакцию
15 ноября 1995 г.