

ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ НА ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУМЕРНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА В СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

В.Б.Анзин, В.Г.Веселаго, В.Н.Заварицкий, А.М.Прохоров

Обнаружено сильное влияние света с энергией кванта $\approx 1,9$ эВ на гальваномагнитные характеристики кремниевых МДП-структур в условиях квантового эффекта Холла, проявляющееся в возрастании концентрации двумерных носителей на величину ΔN_S (до $9 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$). Это явление связывается с уменьшением концентрации объемных зарядов, локализованных в приповерхностной области структуры. Наблюденная долговременная релаксация возбужденных светом носителей (до 10^4 с) может быть уменьшена (до 10 с) облучением системы инфракрасным светом.

Одной из важных проблем физики двумерных электронных систем (2МЭС) является выяснение влияния внешних факторов на их характеристики, в частности, на квантовый эффект Холла. В настоящее время подробно исследовано влияние таких факторов как температура образца ^{1,2} и тянущий ток ²⁻⁴. Информация о влиянии внешнего облучения, в частности, света, значительно беднее. Большая часть работ посвящена изучению прямого воздействия освещения на свойства 2 МЭС, помещенных в сильное магнитное поле, например, ^{1,5,6}, когда энергия кванта излучения ($0,7 \div 10,5$ мэВ) порядка энергетической щели между уровнями Ландау, которая может достигать $15 \div 20$ мэВ. Так как двумерная система, как правило, реализуется на границе раздела двух сред, например, полупроводник – диэлектрик (МДП) или двух полупроводников (как в случае гетероструктур), то изменение объемных свойств прилегающих к 2 МЭС областей под действием света может влиять на характеристики двумерной системы. Этот вопрос, однако, до сих пор оставался открытым.

Для выяснения характера влияния изменения объемных свойств системы на характеристики 2 МЭС мы использовали свет с энергией кванта $\approx 1,9$ эВ, соответствующей переходам зона – зона полупроводника и существенно превосходящей все характерные энергии двумерной системы.

Исследовались n -канальные МДП (металл – диэлектрик – полупроводник) -структуры с холловской геометрией контактов, изготовленные на поверхности (100) кремния p -типа. Подвижность двумерных носителей при 4,2 К составляла $(8 \div 20) \cdot 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Потенциометрические измерения проводились на постоянном токе $4 \cdot 10^{-7}$ А с регистрацией зависимости измеряемого напряжения от магнитного поля B или напряжения на затворе V_G

с помощью двухкоординатного самописца. Структуры освещались со стороны затвора, площадь пятна засветки превышала размеры структуры. Излучение вводилось в прибор по световодам. Измерения производились при температуре $1,3 \div 1,5$ К в полях до 14,5 Т. Во избежание влияния длительных процессов установления равновесной концентрации носителей в канале структуры при изменении напряжения на затворе, основная часть измерений проводилась в условиях $V_G = \text{const}$.

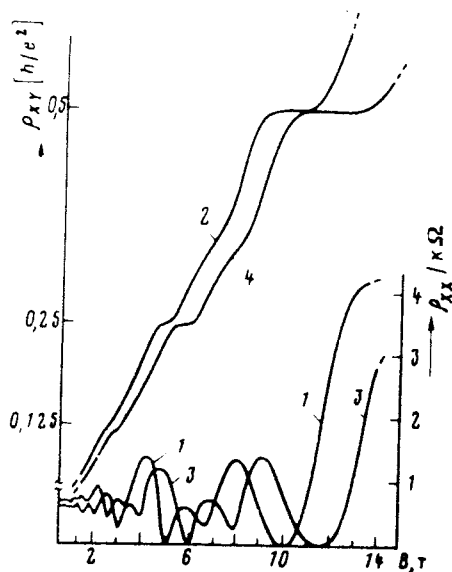


Рис. 1

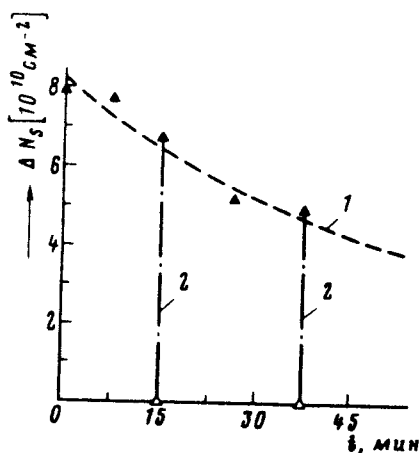


Рис. 2

Освещение структуры видимым светом приводит, по окончании некоторого переходного процесса, к изменению зависимостей продольного ρ_{xx} и холловского ρ_{xy} сопротивления от магнитного поля B . На рис. 1 представлена копия типичной экспериментальной записи на самописце. Исходные зависимости $\rho_{xx}(B)$ и $\rho_{xy}(B)$ (до освещения) обозначены соответственно цифрами 1 и 2. Кривые 3, 4 — магнетосопротивление и холловское сопротивление структуры при освещении. Как видно из приведенных зависимостей, действие света, в основном, сводится к растяжению кривых по оси B , что равносильно увеличению концентрации N_S двумерных носителей. В наших экспериментах приращение концентрации ΔN_S составляло для исследованных структур от 10^{10} до $9 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Эта величина слабо зависела от исходной концентрации двумерных носителей, которая изменялась в пределах от $2 \cdot 10^{11}$ до 10^{12} см^{-2} . Это, вызванное светом, изменение ΔN_S устанавливалось за время, зависящее от интенсивности и характера засветки, которое в отдельных опытах достигало 15 минут. Обсуждение деталей этого переходного процесса выходит за рамки настоящего сообщения.

После выключения засветки система релаксирует в исходное состояние с временами, изменяющимися от структуры к структуре от 10^0 до 10^4 секунд (по шести исследованным образцам). Процесс долговременной релаксации иллюстрируется на рис. 2, где приведены результаты измерения на одном из образцов зависимости ΔN_S от времени, прошедшего после выключения света (кривая 1). Подобные (долговременные) зависимости $\Delta N_S(t)$ наблюдались у половины из исследованных нами образцов. Так как в опытах не наблюдалось какой-либо корреляции между величиной подвижности электронов 2 МЭС и временем релаксации, и время релаксации было нечувствительно к каким-либо изменениям в собственно 2 МЭС (например, к изменению в широких пределах напряжения на затворе), то, скорее всего, наблюдаемое явление обусловлено релаксационными процессами в МДП-структуре, а не в двумерной электронной системе. Время релаксации удастся существенно уменьшить

(до $\cong 10$ с) путем облучения структуры инфракрасным (ИК) светом с энергией кванта $\cong 120$ мэВ. Действие ИК-излучения проиллюстрировано кривыми 2 на рис. 2. Уменьшение времени релаксации под действием ИК-света обусловлено, очевидно, не разогревом системы, о чем свидетельствует тот факт, что в релаксированном состоянии отсутствует (с точностью $5 \cdot 10^{-3}$) влияние ИК засветки на характеристики системы ($\rho_{xx}(B)$ и $\rho_{xy}(B)$). Отметим, что уменьшение времени релаксации под действием ИК-облучения наблюдалось в работах по изучению "замороженной" проводимости в бинарных полупроводниках и получило название "ИК-отжига" ⁷.

Как известно ⁸, специфика МДП-структуры состоит в том, что концентрация двумерных носителей N_S определяется полем затвора только в том случае, когда в ходе опыта остается неизменным распределение объемных зарядов, локализованных в приповерхностной области структуры. На основе этого положения может быть предложено следующее качественное объяснение наблюдаемых явлений. Возрастание концентрации двумерных носителей при освещении, видимо, связано с перераспределением зарядов по приповерхностным квазистационарным уровням, эквивалентным уменьшению суммарного "замороженного" заряда на поверхности Si / SiO_2 , что, очевидно, приведет к соответствующему возрастанию концентрации двумерных носителей в канале. Долговременная релаксация в исходное состояние, после выключения освещения, определяется высотой потенциальных барьеров этих квазистационарных уровней. Возникновение барьеров может быть обусловлено неравномерностью в распределении заряженных примесей, ловушек и дефектов кристаллической структуры ⁹. Инфракрасное облучение сообщает электронам энергию, достаточную для преодоления барьера. Верхняя оценка их высоты может быть получена из энергии квантов излучения, вызывающего значительное ускорение релаксационных процессов и, согласно нашим данным, не превышает 100 мэВ. Однако этот вопрос требует дальнейшего изучения.

В заключение авторы выражают признательность В.Г.Артюшенко, Л.И.Бутвине, В.В.Войцеховскому за содействие и Н.А.Никитину за помощь при подготовке эксперимента.

Литература

1. Von Klitzing K., Tausenfreund B., Obloh H., Herzog T. Lecture Notes in Phys., 1983, 177, 1.
2. Englert T. Lecture Notes in Phys., 1983, 177, 87.
3. Заваицкий В.Н., Анзин В.Б. Письма в ЖЭТФ, 1983, 38, 249.
4. Sakaki H., Hirakawa K., Yoshii J., Svensson S.P., Sekiguchi Y., Hoffa T., Nishi S., Mura N. EP2DSV, 1983, 666.
5. Kavine C.F., Wagner R.J., Tsui D.C. Surf. Sci., 1982, 113, 112.
6. Stein D., Ebert G., Von Klitzing K., Weimann C. EP2DSV, 1983, 414.
7. Бул Б.М., Воронова И.Д., Калужная Г.А., Мамедов Т.С., Рагимова Т.Ш. Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, 21.
8. Ando T., Fowler A.B., Stern F. Rev. Mod. Phys., 1982, 54, 487.
9. Волков Б.А., Панкратов О.А. Препринт ФИАН, 1980, 127.