

- [1] Зелепухин М. В., Квардаков В. В., Соменков В. А., Шильштейн С. Ш. // ЖЭТФ 1989. Т. 95. № 4. С. 1530—1536.
- [2] Kvardakov V. V., Somenkov V. A., Shilstein S. Sh. // Materials Science Forum. 1988. V. 27/28. P. 221—222.
- [3] Morin F. J. // Phys. Rev. 1950. V. 78. № 6. P. 819—820.
- [4] Shull C. G., Strauser W. A., Wollan E. O. // Phys. Rev. 1951. V. 83. N 2. P. 333—345.
- [5] Somenkov V. A., Shilshtein S. Sh., Belova N. E., Utemisov K. // Sol. St. Comm. 1978. V. 25. P. 593—595.
- [6] Бэкон Д. Дифракция нейтронов. М.: ИЛ, 1957. 256 с.
- [7] Zachariasen W. H. Theory of X-ray diffraction in crystals. N. Y., 1945. 255 p.
- [8] Rauch H., Petrascheck D. Topics in Current Physics. V. 6 / Ed. H. Dachs. Berlin—Heidelberg—N. Y., 1978. P. 303—351.
- [9] Belova N. E., Eichhorn F., Somenkov V. A., Utemisov K., Shilshtein S. Sh. // Phys. St. Sol. (a). 1983. V. 76. N 1. P. 257—265.
- [10] Scott R. A. M., Anderson J. C. // J. Appl. Phys. 1965. V. 37. N 1. P. 234—237.
- [11] Nathans R., Pickart S. J., Alperin H. A., Brown P. J. // Phys. Rev. 1964. V. 136. N 6A. P. 1641—1647.
- [12] Kato N., Usami K., Katagawa T. // Advances in X-ray analysis. V. 10. N. Y., 1967. P. 46—66.
- [13] Kohra K., Yoshimatsu M. // J. Phys. Soc. Jap. 1962. V. 17. N 6. P. 1041—1052.

Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова  
Москва

Поступило в Редакцию  
5 декабря 1989 г.

УДК 621.375

! © Физика твердого тела, том 32, № 7, 1990  
Solid State Physics, vol. 32, N 7 1990

## РЕЛАКСАЦИЯ ИМПУЛЬСА ФОТОЭЛЕКТРОНОВ НА ПОВЕРХНОСТИ GaAs В ЭФФЕКТЕ МАГНИТОИНДУЦИРОВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ЗАВИСИМОЙ ФОТОПРОВОДИМОСТИ

В. Л. Альперович, А. О. Минаев, Н. С. Рудая, А. С. Терехов

В работе [1] показано, что вследствие оптического выстраивания импульсов фотоэлектронов [2] магнитное поле, параллельное поверхности полупроводника, приводит к поляризационной зависимости числа баллистических фотоэлектронов, падающих на поверхность, и углов их падения. В этих условиях магнитное поле вызывает ряд поляризационно-зависимых фотоэффектов, таких как магнитоиндуцированный поверхностный фототок, возникающий при диффузном рассеянии электронов на поверхности [3], и магнитоиндуцированная баллистическая фотоэдс в барьере Шоттки [4], которая обусловлена неупругостью взаимодействия электронов с границей раздела металл—полупроводник.

В настоящей работе сообщается о наблюдении поляризационно-зависимой компоненты фотопроводимости в тангенциальном магнитном поле В, которая связана с рассеянием баллистических электронов на поверхности GaAs.

В эксперименте использовались эпитаксиальные пленки *n*-GaAs толщиной  $d=7 \div 100$  мкм с подвижностью электронов  $\mu=4 \cdot 10^4 \div 1.3 \cdot 10^5$  см<sup>2</sup>/В·с при 77 К. К образцу с двумя омическими контактами прикладывалось тянущее электрическое поле *E* величиной до 0.5 В/см. Для исключения влияния фотомагнитного эффекта использовалась геометрия  $E \parallel B$ . Поляризация света, падающего на образец по нормали, модулировалась между состояниями  $e \parallel B$  и  $e \perp B$ . Магнитоиндуцированная поляризационно-зависимая фотопроводимость (МПФП) *j* измерялась на частоте модуляции и пропорциональна разности величин фотопроводимости для

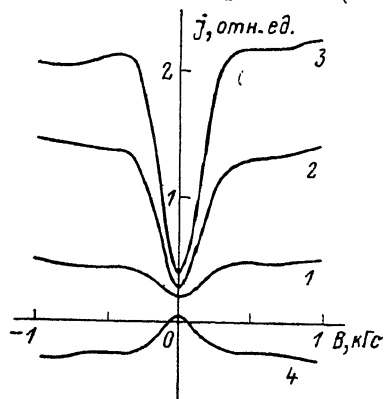
данных состояний поляризации. При этом разностный магнитоиндуцированный поверхностный фототок равен нулю [3]. Все измерения выполнялись при 4.2 К. Более подробно методика эксперимента описана в [5].

Измеренная зависимость тока МПФП  $j$  от магнитного поля  $B$  для различных энергий фотонов приведена на рисунке. Видно, что зависимость  $j(B)$  четна по  $B$  и насыщается при  $B \geq 300$  Гс. Вид  $j(B)$  согласуется с результатом [1], где в слабых магнитных полях в приближении поверхностного поглощения света увеличение доли баллистических электронов, достигающих поверхности, пропорционально  $|B|$ . Знак измеренной зависимости соответствует уменьшению фототока при генерации электронов с преимущественным направлением вылета, перпендикулярным  $B$  (т. е. при  $e \parallel B$  для электронов, рожденных вместе с тяжелыми дырками). Смена знака эффекта при увеличении энергии фотонов  $\hbar\omega \geq 1.56$  эВ (кривая 4 на рис. 1) связана с испусканием ЛО-фонона электронами, рожденными с тяжелой дыркой. При этом в токе преобладают электроны из легкого канала, направление преимущественного вылета которых перпендикулярно направлению вылета в тяжелом канале [2, 3]. Отметим, что наличие не равной нулю поляризационно-зависимой компоненты фотопроводимости при  $B=0$ , вероятно, обусловлено проявлением объемной анизотропной фотопроводимости [6, 7].

Поляризационная зависимость наблюдаемого тока, диапазон полей  $B$ , в которых он возникает ( $B \leq 1$  кГс), и смена знака  $j$  по спектру свидетельствуют о том, что он возникает на баллистическом этапе движения электронов и обусловлен оптическим выстраиванием. Измеренные зависимости  $j(B)$  не могут быть объяснены объемной анизотропной фотопроводимостью, которая уменьшается в магнитном поле [7].

Описанное выше явление может быть объяснено при учете взаимодействия баллистических электронов с поверхностью. Возможным механизмом взаимодействия является рассеяние импульса на поверхности [3]. Действительно, вследствие поляризационной зависимости числа электронов, достигающих поверхности в магнитном поле, диффузное рассеяние на ней приведет к поляризационной зависимости эффективного времени релаксации импульса ансамбля фотоэлектронов. Проведенные оценки показывают, что вклад этого механизма по порядку величины соответствует эксперименту. В тонких образцах  $d \leq \Lambda_p$  — длины свободного пробега по импульсу следует учитывать также рассеяние на границе эпитаксиального слоя с подложкой. В отличие от [3] в данном случае вклады от обеих границ слоя имеют одинаковый знак. Отметим, что к наблюдаемому эффекту может привести также релаксация энергии на поверхности на баллистическом этапе движения, вызывающая поляризационную зависимость средней энергии фотоэлектронов и, следовательно, величины фотопроводимости, которая в чистом GaAs зависит от их начальной энергии [8]. Для окончательного выяснения природы взаимодействия электронов с поверхностью, видимо, требуются дополнительные эксперименты и сопоставление наблюдаемых результатов с численным расчетом эффекта для различных микроскопических механизмов этого взаимодействия.

Авторы благодарят В. И. Белиничера и М. В. Энтина за полезное обсуждение результатов и ценные замечания, Ю. Б. Болховитянова — за поддержку этой работы.



Зависимость МПФП  $j$  от магнитного поля  $B$  для различных энергий фотонов  $\hbar\omega$ .

1 —  $\hbar\omega = 1.527$  эВ, что соответствует начальной энергии фотоэлектронов из тяжелого канала  $\epsilon = 7$  мэВ; 2 — 1.542, 20; 3 — 1.558, 34; 4 — 1.565, 41.

- [1] Ефанов А. В., Энтин М. В. // ФТП. 1988. Т. 22. № 3. С. 386—389.  
 [2] Захарченя Б. П., Мирлин Д. Н., Перель В. И., Решина И. И. // УФН. 1982. Т. 136. № 3. С. 459—499.  
 [3] Альперович В. Л., Минаев А. О., Терехов А. С. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. № 11. С. 610—612.  
 [4] Альперович В. Л., Минаев А. О., Терехов А. С. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 49. № 1. С. 19—21.  
 [5] Альперович В. Л., Минаев А. О., Мощенко С. П., Терехов А. С. // ПТЭ. 1988. № 4. С. 172—174.  
 [6] Альперович В. Л., Белиничер В. И., Мощенко С. П., Терехов А. С. // Тез. докл. X Всес. конф. по физике полупроводников. Минск, 1985. С. 73—74.  
 [7] Белиничер В. И., Браславец А. В., Терехов А. С. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 2. С. 342—347.  
 [8] Nahory R. E. // Phys. Rev. 1969. V. 178. N 3. P. 1293—1295.

Институт физики полупроводников  
 СО АН СССР  
 Новосибирск

Поступило в Редакцию  
 14 декабря 1989 г.

УДК 534.321

© Физика твердого тела, том 32, № 7, 1990  
 Solid State Physics, vol. 32, N 7, 1990

## ПАМЯТЬ УПРУГОСТИ В КРИСТАЛЛЕ $\text{Li}_2\text{V}_4\text{O}_7$ : ЭФФЕКТ НЕСОИЗМЕРИМОЙ МОДУЛЯЦИИ?

*В. Н. Анисимова, А. П. Леванюк, Е. Д. Якушкин*

Эффекты памяти характерны для различного рода модулированных систем — проводников с волнами зарядовой плотности, полярных диэлектриков с несоизмеримой фазой [1, 2]. Эти эффекты объясняются обычно взаимодействием подвижных дефектов вещества с волной несоизмеримой модуляции. В несоизмеримой фазе полярных диэлектриков эффекты памяти (так же как и гистерезисные явления) наблюдаются, например, на температурных зависимостях диэлектрической восприимчивости, показателя преломления [2]. При измерениях других макроскопических величин должны, вообще говоря, проявляться подобные же эффекты. Вопрос заключается только в том, насколько оптимальны условия для их экспериментального обнаружения.

Полярный кристалл тетраборат лития (ТБЛ) известен главным образом как перспективный материал для пьезо- и пьезоэлектрических применений (см., например, [3]). В недавно проведенных рентгенографических исследованиях этого кристалла была обнаружена несоизмеримая модуляция [4]. Позднее утверждалось, что несоизмеримость возникает в результате определенной термообработки кристалла [5].

Нами исследовалась температурная зависимость относительного изменения модуля упругости  $\Delta C_{11}/C_{11}$  кристалла ТБЛ. Измерения соответствующей скорости звука проведены эхо-импульсным методом на частоте 10 МГц при относительной точности  $10^{-5}$ . Все экспериментальные точки получены в режиме стабилизации температуры.

Основной результат приведен на рисунке. Штриховая прямая отвечает линейной аппроксимации в предположении монотонной температурной зависимости модуля упругости. Температурный коэффициент аппроксимации  $\alpha = 1/C_{11} (dC_{11}/dT)$  составляет  $3 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ . Из этого рисунка видно, что в интервале нескольких десятков градусов наблюдается значительное отклонение от прямой, при этом изменяется величина температурного коэффициента и даже имеется область, где значение  $dC_{11}/dT$  близко к нулю. Середина этой области приходится приблизительно на 300 К, т. е. на ком-