

УДК 621.315

АНОМАЛЬНО БОЛЬШОЙ ФОТОТОК В МАГНИТНОМ ПОЛЕ В ДВУМЕРНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ

А. П. Шотов, А. В. Бабушкин

Обнаружен аномально большой фототок вдоль слоев в поперечном магнитном поле в двумерных многослойных структурах GaAs/AlGaAs. Возникновение этого тока объясняется проявлением фотоэлектромагнитного эффекта и вкладом дополнительного тока обратной связи через подложку.

В последнее время значительный интерес проявляется к исследованию проводимости в полупроводниковых квантово-размерных структурах. При этом большое внимание уделяется как физике продольного и поперечного транспорта носителей заряда, так и поиску новых фотогальваномагнитных явлений [1 - 3].

В настоящей работе исследовались фотогальваномагнитные явления в многослойных структурах (сверхрешетках) GaAs/AlGaAs. В результате измерений продольной (вдоль слоев) проводимости в поперечном магнитном поле, ориентированном в плоскости слоя, обнаружен аномально большой ток фотовозбужденных носителей. Этот ток можно объяснить проявлением фотоэлектромагнитного (ФЭМ) эффекта и вкладом дополнительного тока обратной связи через подложку.

Измерения проводились на структурах подробно описанных в работе [4]. На подложке *n-GaAs* (100) с буферным слоем *n-GaAs : Si* ($N_D = 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$) толщиной 0,5 мкм МОС-гидридной эпитаксией были выращены 60 периодов сверхрешетки GaAs/AlGaAs. Квантовые ямы шириной 40 Å в GaAs, легированном Si ($N_D = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$), были ограничены широкими (310 Å) барьерами $Al_xGa_{1-x}As$ ($x = 0,28$; $N_D = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$) для уменьшения туннельных токов. Верхний низкоомный слой GaAs имел толщину 0,5 мкм.

Для измерений фотопроводимости использовались образцы в виде мезоструктуры диаметром 300 мкм с контактами из Au. Измерения фототока вдоль слоев проводились

на образцах с двумя In контактами диаметром 50 мкм на золотом слое, расположенными на поверхности мезоструктуры на расстоянии 200 мкм друг от друга. При этом верхний низкоомный слой $GaAs$ был удален травлением в растворе $H_2SO_4:H_2O_2:H_2O$ (в соотношении 1:8:80).

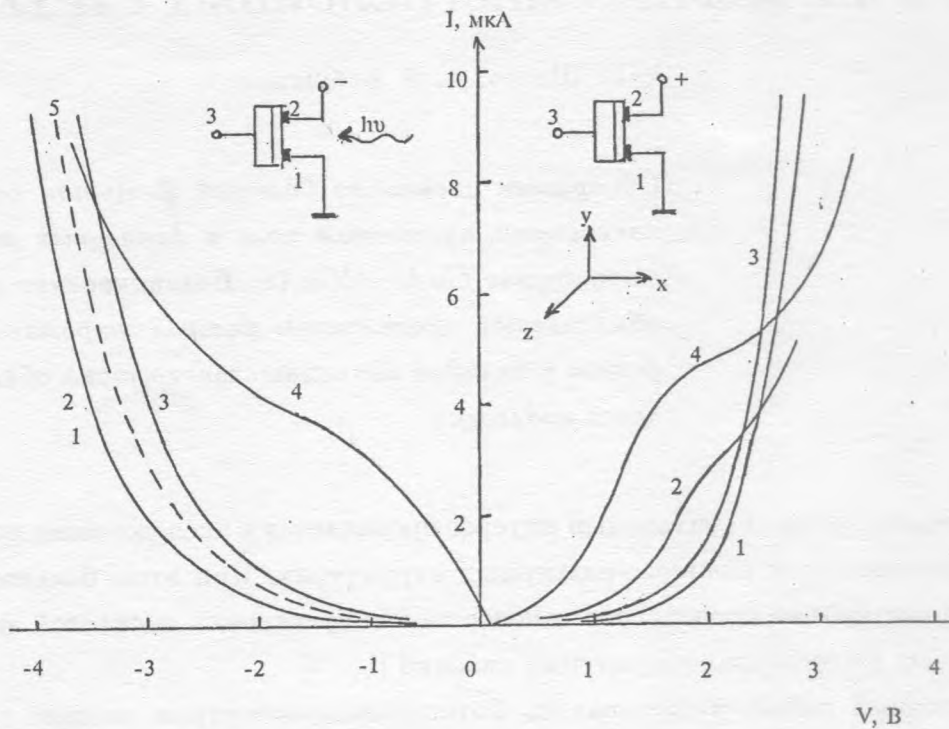


Рис. 1. Зависимость тока от напряжения при разной полярности на контактах 1 и 2: 1 – темновой ток ($B = 0$); 2 – темновой ток ($B = 3 \text{ кГс}$); 3 – ток при фотовозбуждении носителей без магнитного поля; 4 – ток при фотовозбуждении носителей в магнитном поле $B = 3 \text{ кГс}$; 5 – ток при фотовозбуждении в магнитном поле и внешнем напряжении $V_3 = -2 \text{ В}$.

На рис. 1 показаны вольт-амперные (В-А) характеристики при разных полярностях напряжения на контактах, снятые при температуре $T = 80 \text{ К}$. Геометрия эксперимента видна на вставке рисунка. Темновые токи в магнитном поле ($B_z = 3 \text{ кГс}$) и без магнитного поля мало отличаются при отрицательном потенциале на контакте 2, поэтому на рисунке они показаны единой кривой 1, 2. При измерении полярности напряжения на контакте 2 темновой ток в магнитном поле (кривая 2) заметно больше, чем без

магнитного поля (кривая 1). Это свидетельствует о наличии в темновом токе инжектированных носителей. Как будет видно ниже, магнитное поле выявляет поперечный ток инжектированных либо фотовозбужденных носителей.

Непрерывное фотовозбуждение носителей в области собственного поглощения мощностью ~ 1 мВт существенно увеличивает ток (кривая 3). Аномально большое увеличение тока в условиях фотовозбуждения наблюдается при приложении поперечного магнитного поля (кривая 4).

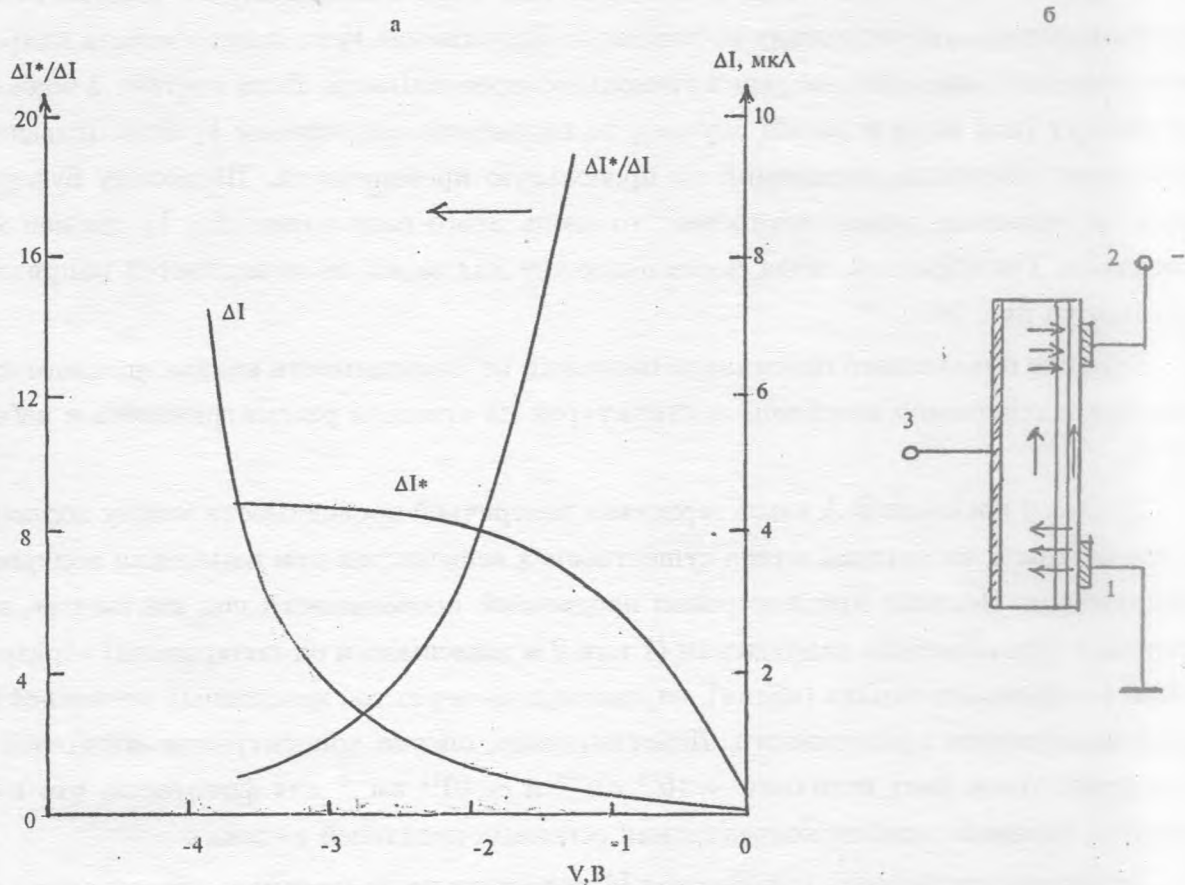


Рис. 2. а) фототок в магнитном поле ΔI^* и без магнитного поля ΔI и их отношения при отрицательной полярности напряжения на контакте 2; б) токи обратной связи через подложку.

На рис. 2а даны значения фототоков (вызванных фотовозбуждением) в магнитном

поле ΔI^* и без магнитного поля ΔI и их отношения. Видно, что: а) отношение фототоков весьма велико, достигает $\simeq 18$ при малых напряжениях, и уменьшается с ростом напряжения; б) фототок в магнитном поле ΔI^* мало зависит от напряжения в широкой области напряжений.

При измерении продольной проводимости было также установлено, что на подложке (контакт 3) возникает напряжение V_3 той же полярности, что и на контакте 2, причем $V_3 \sim 0,4 V_2$ (для данной структуры). Поэтому можно считать, что измеряемая структура с тонким слоем сверхрешетки на подложке в нашем случае подобна полево-му транзистору, управляемому по подложке. Напряжение V_3 на подложке есть напряжение обратной связи при измерении продольной проводимости. Если контакт 3 подложки разомкнут (как было в нашем случае), то наведенное напряжение V_3 есть плавающий потенциал подложки, влияющий на продольную проводимость. Поскольку буферный слой на подложке сильно легирован, то вдоль этого слоя потенциал V_3 должен мало меняться. Ток обратной связи через подложку для одной из полярностей напряжения показан на рис. 2б.

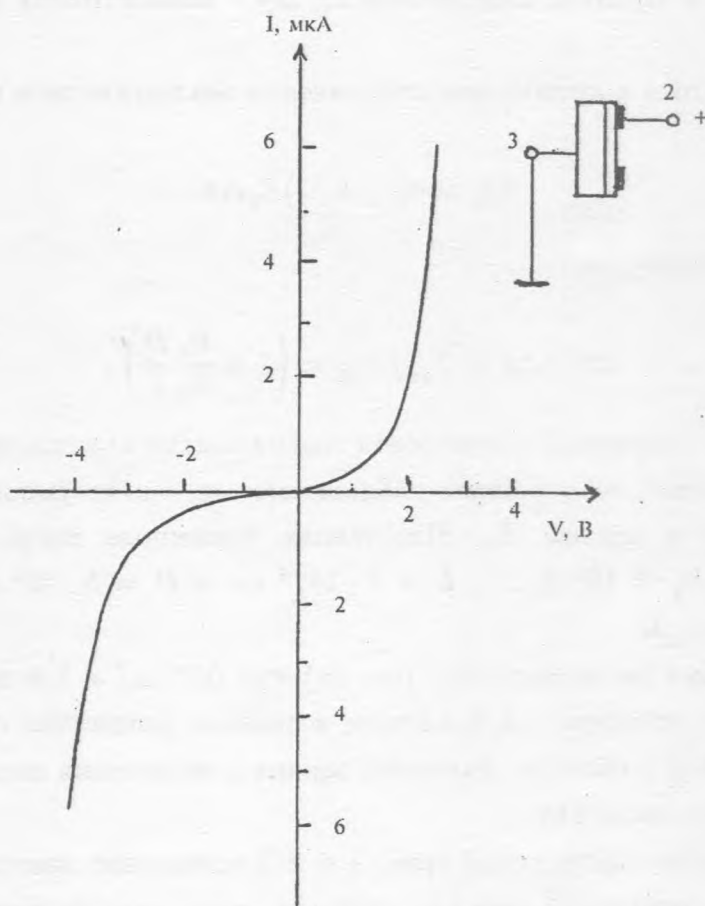
Влияние плавающего потенциала подложки на проводимость канала полевого транзистора и генерацию колебаний в структурах на кремнии рассматривалось в работах [5, 6].

На рис. 3 показана В-А характеристика поперечной проводимости между подложкой и контактом 2, на которой видна существенная асимметрия при изменении полярности напряжения. Поэтому при измерении продольной проводимости под контактом, находящимся при обратном напряжении (1 или 2 в зависимости от полярности) образуется область объемного заряда (канал), определяющая через ток неосновных носителей (дырок) измеряемую проводимость. Действительно, оценка концентрации носителей для темновых токов дает величину $\sim 10^{11} \text{ см}^{-3}$ и $\sim 10^{12} \text{ см}^{-3}$ для фототоков, что на несколько порядков меньше концентрации основных носителей в слоях.

Значительное влияние напряжения V_3 подложки на продольную проводимость видно из рис. 1, где показан ток (кривая 5), снятый при фотовозбуждении носителей в магнитном поле и внешнем напряжении $V_3 = -2V$. Проводимость сильно падает из-за уменьшения концентрации неравновесных носителей в канале (это видно из сопоставления кривых 4 и 5).

Таким образом, наблюдаемое аномальное увеличение фототока в магнитном поле можно объяснить следующим образом.

Фотовозбуждаемые у поверхности электронно-дырочные пары (на глубине $< 1 \text{ мкм}$)

Рис. 3. *V-A характеристика поперечной проводимости.*

создают не зависящий от напряжения диффузионный ток перпендикулярно слоям. При этом длина диффузии носителей L определяется главным образом их рекомбинацией на границе раздела слоев $GaAs/AlGaAs$ и на n^+/n границе с подложкой. В поперечном магнитном поле возникает фототок параллельно слоям (ФЭМ-эффект).

Как известно [5], при ФЭМ-эффекте плотность фототока в магнитном поле в продольном направлении

$$\Delta j_y^* = e(\mu_n + \mu_p)E_y \Delta p + eD(\mu_n^* + \mu_p^*)B_z \Delta p/L, \quad (1)$$

где D – коэффициент амбиполярной диффузии, μ_n и μ_p – дрейфовые и μ_n^* и μ_p^* – холловские подвижности электронов и дырок, L – длина диффузии носителей (в нашем случае

$L \sim 2$ мкм близка к толщине сверхрешетки), Δp – концентрация фотовозбужденных дырок.

Плотность фототока в продольном направлении без магнитного поля

$$\Delta j_y = e(\mu_n + \mu_p)E_y \Delta p. \quad (2)$$

Тогда отношение фототоков

$$\Delta I^*/\Delta I = \Delta j_y^*/\Delta j_y = \left(1 + \frac{B_z D}{E_y L}\right), \quad (3)$$

где различие между холловской и дрейфовой подвижностью считалось несущественным. Это выражение правильно отражает наблюдаемое на опыте уменьшение отношения фототоков (рис. 2) с ростом E_y . Подставляя численные значения $B_z = 3$ кГс = $3 \cdot 10^{-5}$ В · с/см², $E_y = 10^2$ В/см, $L = 2 \cdot 10^{-4}$ см и $D = 5 \cdot 10^2$ см²/с (при 80 К), получим $\Delta I^*/\Delta I \sim 1,3$.

Из сопоставления с экспериментом (рис. 2а), где $\Delta I^*/\Delta I = 7,6$ при $E_y = 10^2$ В/см, получим возможное усиление $\sim 5,9$, которое возникает вследствие отклонения носителей магнитным полем в область объемного заряда и включения дополнительного тока обратной связи через подложку.

В области больших напряжений (рис. 1 и 2а) вследствие лавинного размножения носителей наблюдается резкий рост как темнового тока так и фототока, в то время ток ФЭМ-эффекта мало зависит от напряжения.

Авторы благодарны В. А. Горбылеву и И. Д. Залевскому за предоставление исследованных структур, а также Е. Г. Чижевскому и С. И. Оськиной за помощь в изготовлении образцов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 94-02-05250).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дмитриев А. П., Емельянов С. Я., Иванов С. И. и др. Письма в ЖЭТФ, **54**, 279 (1991).
- [2] Горбачевич А. А., Капаев В. В., Копеев Ю. В. Письма в ЖЭТФ, **57**, 565 (1993).

- [3] Алещенко Ю. А., Воронова И. Д., Гришечкина С. П. и др. Письма в ЖЭТФ, **58**, 377 (1993).
- [4] Горбылев В. А., Залевский И. Д., Петров А. И. и др. ФТП, **27**, 1453 (1993).
- [5] Tihanyi J. and Schotterer H., Solid-State Electronics, **4**, 309 (1975).
- [6] Кнаб О. Д., Фролов В. Д. Письма в ЖЭТФ, **38**, 244 (1983).

Поступила в редакцию 24 января 1995 г.