

сности $\delta(E_p)$. Как видно из рис. 1, при $E_p = 3.5 - 4.5$ эВ действительно наблюдаются участки наиболее резкого роста зависимостей $\delta(E_p)$ и $\sigma(E_p)$. Однако интерпретация этих особенностей для исследованного ОЭС эмиттера может быть связана и с другим обстоятельством, а именно с ростом в этой области E_p вероятности взаимодействия первичных электронов с валентными электронами, что проявляется в резком спаде зависимости $R(E_p)$, начиная с $E_p \approx 3.5$ эВ (рис. 1). Рост эффективности взаимодействия первичных электронов с валентными электронами в соответствующей области энергий E_p может быть связан с особенностями энергетической структуры эмиттера и прежде всего с характерным для полупроводников $A^{III}B^V$ увеличением плотности состояний в валентной зоне при удалении от ее вершины на несколько электронвольт [13].

Литература

- [1] Белл Р. Л. Эмиттеры с отрицательным электронным средством М.: Энергия, 1978. 192 с.
- [2] Мусатов А. Л., Коротких В. Л., Коринфский А. Д. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1976. Т. 40. № 12. С. 2523—2527.
- [3] Андронов А. Н., Маслевцов А. В., Лепешинская В. Н. // Тез. докл. III Всесоюзн. симп. по вторичной и фотоэлектронной эмиссии. М., 1978. С. 96—97.
- [4] Комолов С. А., Галат Я. // Поверхность. 1983. № 5. С. 36—40.
- [5] Немченко Р. Л., Пальтс Т. Н., Цуранов А. П. // ФТТ. 1976. Т. 18. Вып. 1. С. 241—243.
- [6] Шульман А. Р., Фридризов С. А. Вторично-эмиссионные методы исследования твердого тела. М.: Наука, 1977. 552 с.
- [7] Wooten F. // J. Appl. Phys. 1973. Vol. 44. N 3. P. 1118—1120.
- [8] Либенсон Б. Н., Стучинский Г. Б., Янюшкин Е. И., Янюшкина Т. В. // ФТТ. 1984. Т. 26. Вып. 8. С. 2424—2427.
- [9] Нолле Э. Л., Петров А. Э., Ботнее С. А. // ФТТ. 1985. Т. 27. Вып. 9. С. 2817—2819.
- [10] Брыксин В. В., Мирлин Д. Н., Фирсов Ю. А. // УФН. 1974. Т. 113. № 1. С. 29—67.
- [11] Grafford M. G., Shaw R. W., Herzog A. H., Graves W. O. // J. Appl. Phys. 1972. Vol. 43. N 10. P. 4075—4079.
- [12] Афонина Л. Ф., Воробьева О. Б., Климин А. И., Стучинский Г. Б. // РиЭ. 1969. Т. 14. № 12. С. 2237—2241.
- [13] Chelikowsky J., Chadi D. J., Cohen M. L. // Phys. Rev. B. 1973. Vol. 8. N 6. P. 2786—2794.

Поступило в Редакцию
26 марта 1988 г.

МЕХАНИЗМ МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ

И. М. Вихулин, М. А. Глауберман, В. В. Егоров, Н. А. Канищева

В работе исследуется механизм магниточувствительности многослойной полупроводниковой структуры. Решение этого вопроса непосредственно связано с изучением эффектов, возникающих при действии магнитного поля на распределение концентрации неосновных неравновесных носителей заряда с учетом ее геометрических особенностей.

Рассмотрим эту задачу для структуры, показанной на рис. 1. Считалось [1], что основным механизмом ее магниточувствительности является эффект отклонения потока инжектированных носителей заряда к одному из коллекторов непосредственно магнитным полем (силой Лоренца), а также дополнительно силой электрического поля Холла, создаваемого в базе током основных носителей заряда, т. е. результирующий угол отклонения вектора плотности тока неосновных носителей заряда относительно оси x равен

$$\varphi = \operatorname{arctg}(\mu_p^* B) + \operatorname{arctg}(\mu_n^* B),$$

где μ_p^* , μ_n^* — холловские подвижности дырок и электронов.

Величина эффекта отклонения наиболее значительна, когда а) токи неосновных и основных носителей заряда параллельны при $B=0$, б) магнитное поле перпендикулярно поверхности структуры, в) ширина базы ограничена расстоянием между коллекторами. Уровень инжекции эмиттера считался однородным по всей инжектирующей поверхности.

В действительности холловское поле, возникающее в базовой области, создает разные уровни инжекции на краях протяженного эмиттера (имеющего определенные размеры вдоль оси y), находящегося при одном и том же потенциале, т. е. возникает эффект модуляции инжекции [2]. При этом следует учесть, что упомянутый эффект для подобных структур ранее не учитывался [1, 3].

С целью оценки величины взаимного вклада в магниточувствительность эффектов модуляции и отклонения проведено математическое моделирование процесса переноса инжектированных носителей заряда в поперечном магнитном поле в базе рассматриваемой структуры (рис. 1) при различных длинах эмиттера. Моделирование осуществлялось путем рас-

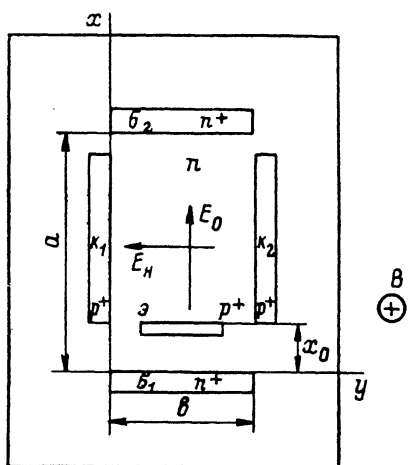


Рис. 1. Общий вид структуры.

a — эмиттер; k_1, k_2 — коллекторы; b_1, b_2 — омические контакты к базе; $a = L_p$, $b = 0.6L_p$, $x_0 = 0.3L_p$.

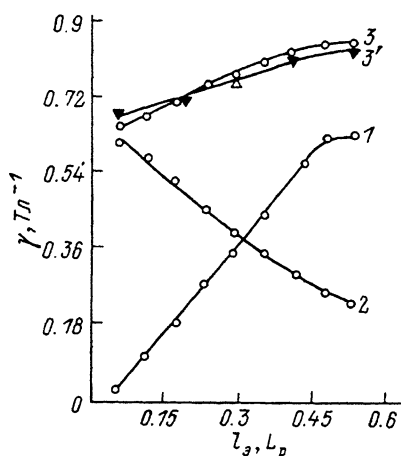


Рис. 2. Расчетные зависимости относительной магнитоувствительности от длины эмиттера для случаев, когда она определяется различными эффектами.

1 — эффект модуляции инжекции; 2 — эффект отклонения; 3, 3' — совместно обоими эффектами; 3' — экспериментальная зависимость. $V_0 = 0.1$ В, $E_0 = 10^4$ В/м, $B = 0.1$ Тл.

вития метода (функции Грина) решения соответствующей системы двумерных дифференциальных уравнений в частных производных [1] для случаев, когда магнитоувствительность определяется следующими эффектами.

Только эффектом модуляции инжекции, что выражается во влиянии на функцию источника, инжекции изменения смещения на краях эмиттера, обусловленного холловским полем

$$V_s(x, y) = V_0 + E_0(x - x_0) + E_H\left(y - \frac{b}{2}\right),$$

где V_0 — смещение на эмиттере при $B=0$; E_0 — тянущее электрическое поле в базе; E_H — электрическое поле Холла; b — расстояние между коллекторами; x, y — текущие координаты эмиттера.

Только эффектом отклонения инжектированных носителей заряда в базе (при $V_s = V_0$) или влиянием обоих эффектов.

Расчет проводился для низких уровней инжекции, когда E_H максимально (постоянная Холла определяется концентрацией основных носителей заряда).

На рис. 2 приведены расчетные зависимости относительного изменения разности токов двух коллекторов $I_{k1} - I_{k2} / I_{k0} B (I_{k0}$ — ток каждого из коллекторов при $B=0$) в магнитном поле $B=0.1$ Тл от длины эмиттера для каждого из перечисленных выше случаев. Расчетные зависимости для значений параметров исходного материала и режимов работы получены из эксперимента для структуры, выполненной на Si с $\rho = 100$ Ом·см. Геометрические размеры даны в единицах диффузионной длины L_p .

Как следует из зависимости [1], магнитоувствительность, связанная с модуляцией инжекции эмиттера, растет с увеличением его длины, поскольку возрастает асимметрия смещения на краях эмиттера. Одновременно наблюдается и уменьшение расстояния между

эмиттером и коллекторами, что приводит к росту I_{k0} . Поэтому зависимость магниточувствительности при больших l_0 имеет участок насыщения.

Эффект отклонения наиболее заметен при малом значении l_0 , когда эффект модуляции инжекции выражен наиболее слабо. С ростом длины эмиттера вклад этого эффекта в магниточувствительность уменьшается, так как угол отклонения вектора плотности тока неосновных носителей заряда остается неизменным, а I_{k0} возрастает.

Оба описанных эффекта действуют одновременно, но при определенных длинах эмиттера один из них может преобладать. Суммарный вклад эффектов в магниточувствительность представлен зависимостью β , которая незначительно растет с увеличением l_0 . Экспериментальная зависимость β' относительного изменения разности токов коллекторов при $V=0.1$ Тл от l_0 хорошо согласуется с расчетной. Такое соответствие подтверждает важную роль обоих эффектов в механизме магниточувствительности.

Таким образом, проведенное исследование позволяет конструировать на основе планарной многослойной структуры высокоэффективные преобразователи магнитного поля.

Литература

- [1] Викулин И. М., Глауберман М. А., Канищева Н. А. // ФТП. 1977. Т. 11. Вып. 4. С. 645—650.
- [2] Vinal A. W., Masnari N. A. // IEEE Electron Device Lett. 1982. Vol. EDL-3. P. 203—205.
- [3] Руженин Ч. С. // ФТП. 1986. Т. 20. Вып. 8. С. 1410—1412.

Одесский электротехнический институт связи им. А. С. Попова

Поступило в Редакцию
21 марта 1988 г.

05; 01

Журнал технической физики, т. 59, в. 7, 1989

АНАЛОГ ВОЛН ЛЯВА В МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ДВУМЕРНО-ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

Д. К. Грамотнев

В данной работе рассмотрены сдвиговые поверхностные акустические волны в мелко-масштабных двумерно-периодических структурах (МДПС), которые аналогичны известным волнам Лява [1, 2]. Под мелкомасштабными подразумеваются структуры с периодами $d_{1,2} \ll \lambda$ (λ — длина распространяющейся волны). Показано, что рассматриваемые волны дисперсионны и могут распространяться по направлению, параллельному канавкам мелко-масштабной одномерно- или двумерно-периодической структуры.

Пусть МДПС на поверхности изотропного тела состоит из протяженных выступов из изотропного материала (в общем случае отличного от материала подложки) и с вертикальными боковыми стенками постоянной высоты h (рис. 1, а). Оси координат x и z лежат в плоскости поверхности тела; ось x параллельна выступам, а z перпендикулярна им. Ось y перпендикулярна поверхности тела и направлена от него.

В длинноволновом приближении ($\lambda \gg d_{1,2}$) мелкомасштабную структуру можно рассматривать как сплошной эффективный слой (ЭС) вещества толщиной h с усредненной по элементарной ячейке плотностью и с упругими постоянными, подлежащими определению. Такое рассмотрение аналогично применению макроскопической теории упругости, когда длина волны много больше межатомных расстояний (в нашем случае роль атомов играют выступы). Можно показать, что если

$$h \ll \frac{C_2 l(x)}{\mu_1}, \quad l(x), \quad (1)$$

где $l(x)$ — ширина выступов (рис. 1, а), μ_1 — модуль сдвига их материала, а C_2 — модуль одностороннего сжатия материала подложки, то сдвиговые смещения в поверхностной волне (если она существует) вызывают деформацию выступов, которую также можно считать чисто сдвиговой с точностью до членов $\sim U_0 h \mu_1 / \lambda C_2 \ll U_0 l(x) / \lambda \ll U_0$, где U_0 — амплитуда смещений в волне. Отсутствие изгиба выступов в плоскости (x, z) связано с эффективным (при выполнении условия (1)) упругим противодействием этому изгибу подложки.