

ЛИТЕРАТУРА

1. Суханова Л. С., Мартыненко Л. И., Спицын В. И.—ЖНХ, 1970, т. 15, вып. 6, с. 1494.
2. Звягинцев О. В., Гончаров Е. В.—ЖНХ, 1962, т. 8, с. 1880; ЖНХ, 1963, т. 8, с. 349.
3. Суханова Л. С., Мартыненко Л. И., Украинский Ю. М.—ЖНХ, 1969, т. 14, вып. 10, с. 2885.
4. Коган Б. И. Редкие металлы, состояние и перспективы.— М., 1979.
5. Шевченко Л. Л.—Успехи химии, 1963, т. 32, вып. 4, с. 457.
6. Суханова Л. С., Мартыненко Л. И.—ЖНХ, 1969, т. 14, с. 397.
7. Пупликова О. И., Неокладнова Л. Н., Усова О. П., Зарецкий М. В.—ЖОХ, 1978, т. 48, вып. 1, с. 186.
8. Suzuki S., Shimanouchi T., Tsuboi M.—Spectrochimica Acta, 1963, v. 19, p. 1195.
9. Варшавский Ю. С., Илькова Е. Н., Гринберг А. А.—ЖНХ, 1969, т. 8, с. 2659.
10. Аблоу А. В., Чапурина Л. Ф., Проскина И. П.—ЖНХ, 1967, т. 12, с. 499.
11. Алсанов Л. А., Ионов В. М., Кискаев И. Д.—Коорд. химия, 1976, т. 2, вып. 12, с. 1642.
12. Беляева Т. Ф., Порай-Кошиц М. А., Малиновская Т. И., Алсанов Л. А., Суханова Л. С., Мартыненко П. И.—Ж. структ. химии, 1969, т. 10, вып. 3, с. 357.
13. Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений.— Мир, 1966.
14. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул.— М., 1963.

Поступила в редакцию
23.12.82.

Кафедра биофизики

УДК 621.315.592

М. С. КАМАРА, Е. К. КОХАН, М. Г. ЛУКАШЕВИЧ

ИЗМЕНЕНИЕ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЯ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

В [1] нами обнаружено уменьшение отрицательного магнитосопротивления (ОМС) и переход в область положительного (ПМС) в арсениде галлия *n*-типа с концентрацией электронов $(4-30) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ при увеличении приложенного к кристаллу электрического поля. Детальное изучение вольтамперных характеристик (ВАХ), температурной и электрополевой зависимости постоянной Холла [2, 3] позволило установить, что нелинейность ВАХ при $T=4,2 \text{ К}$ в предпробойных полях, в которых наблюдается уменьшение ОМС и переход к ПМС, обусловлена перераспределением носителей между примесной зоной и зоной проводимости в электрическом поле. В связи с этим уменьшение ОМС в электрическом поле в рамках расчета [4] было связано с уменьшением концентрации частично локализованных в примесной зоне магнитных центров (локализованных спинов) и электронов.

В данной работе проведен расчет зависимости магниторезистивного эффекта в *n*-GaAs от электрического поля в предположении, что в электрическом поле изменяется как величина ОМС так и ПМС.

Изучение ВАХ показало, что увеличение проводимости в предпробойных полях можно описать зависимостью

$$\sigma(E) = \sigma(0) \left(\frac{E}{E_0} \right)^2, \quad (1)$$

где E_0 — поле, начиная с которого наблюдается отклонение от закона Ома.

Величина χ в разных образцах изменялась от 0,5 до 1. Учитывая, что при низких температурах проводимость кристалла определяется носителями зоны проводимости (индекс 1) и примесной зоны (индекс 2), а полное число носителей не изменяется

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2, \quad n = n_1 + n_2 = \text{const} \quad (2)$$

для зависимости концентрации электронов в зонах от электрического поля с учетом (1) получим следующие соотношения:

$$n_2(E) = \frac{n}{1-\theta} + \left(n_2^0 - \frac{n}{1-\theta}\right) \left(\frac{E}{E_0}\right)^k \quad (3)$$

$$n_1(E) = -\frac{n\theta}{1-\theta} - \left(n_2^0 - \frac{n}{1-\theta}\right) \left(\frac{E}{E_0}\right)^k, \quad (4)$$

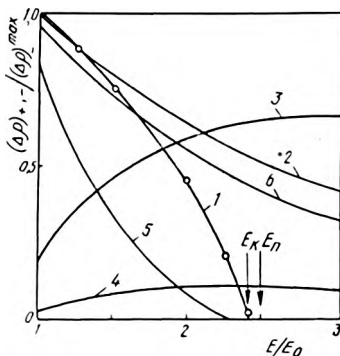
где μ — подвижность носителей; $\theta = \frac{\mu_2}{\mu_1}$; n_2^0 — концентрация носителей в примесной зоне в слабом электрическом поле.

Согласно [4], ОМС, обусловленное подавлением неупругого рассеяния носителей на частично локализованных спинах, пропорционально квадрату намагниченности, а число магнитных состояний определяется полной концентрацией электронов в примесной зоне. Тогда для зависимости концентрации частично локализованных спинов от электрического поля с учетом (3) можно записать:

$$N_M(E) = kn_2^0 - \frac{n}{1-\theta} - \left(n_2^0 - \frac{n}{1-\theta}\right) \left(\frac{E}{E_0}\right)^k, \quad (5)$$

где $k \approx 0,1$ [4].

Отметим, что выражение (5) получено в предположении, что перевод одного носителя из примесной зоны в зону проводимости приводит к уменьшению N_M на единицу и сначала происходит делокализация магнитных состояний. Последнее предположение оправдано тем, что энергия связи электрона, определяющего магнитный момент рассеивающего центра, с частично изолированным нейтральным донором меньше энергии ионизации мелкого донорного уровня в нейтральном зарядовом состоянии.



Зависимость магнитосопротивления образца с $n_r = 7,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ при $T = 4,2 \text{ К}$ от электрического поля:

1 — эксперимент; 2-6 — расчет; 2 — ОМС; 3, 4 — ПМС; 5, 6 — результирующее изменение МС для случая рассеяния носителей заряда на зонах примеси и пьезоэлектрических колебаниях соответственно

равновесных носителей в зоне проводимости в предпробойных полях. Действительно, так как магнитополевая зависимость МС проходит через минимум и с увеличением напряженности магнитного поля МС становится положительным [1, 3], можно считать, что измеряемое МС представляет собой алгебраическую сумму двух компонент: отрицательной $(\Delta\rho/\rho_0)_-$ и положительной $(\Delta\rho/\rho_0)_+$;

$$(\Delta\rho/\rho_0)_n = (\Delta\rho/\rho_0)_- + (\Delta\rho/\rho_0)_+ \quad (6)$$

На рисунке приведена экспериментальная (кривая 1) и расчетная с учетом (5) зависимость максимальной величины ОМС (кривая 2) для образца с $n_r = 7,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ от электрического поля. В расчете использованы экспериментальные величины $k = 0,58$ и $\theta = 0,30$.

Видно, что в слабых электрических полях они достаточно хорошо согласуются, однако с увеличением поля ОМС уменьшается более сильно, чем предсказывает расчет. Оценка, согласно (5), критического поля E_k перехода от ОМС к ПМС (при этом $N_M = 0$) дает величину, превышающую напряженность поля пробоя E_n .

Более сильное уменьшение ОМС в электрическом поле и меньшую, чем E_n , величину E_k можно объяснить увеличением положительной компоненты МС при появлении дополнительных не-

Подставляя (3) и (4) в формулу для МС кристалла с двумя типами носителей [5]

$$(\Delta\rho/\rho_0)_+ = \beta_1^2 \left[C \frac{1-x\theta^2}{1+x\theta} - A^2 \frac{(1+x\theta^2)^2}{(1+x\theta)^2} \right], \quad (7)$$

где $\beta_1 = \frac{\mu_1 H}{c}$, $x = \frac{n_2}{n_1}$, и, пренебрегая ввиду малости θ величиной θ^2 и более высокими степенями θ для магнито- и электрополевой зависимости положительной компоненты МС, получим

$$(\Delta\rho/\rho_0)_+ = \beta_1^2 \left\{ C \frac{\omega - (n_2^0 - \omega) \left(\frac{E}{E_0} \right)^2}{(\theta - 1)(n_2^0 - \omega) \left(\frac{E}{E_0} \right)^2} - A^2 \frac{\left[\omega\theta(\theta - 1) - (n_2^0 - \omega) \left(\frac{E}{E_0} \right)^2 \right]^2}{\left[(n_2^0 - \omega)(\theta - 1) \left(\frac{E}{E_0} \right)^2 \right]^2} \right\}, \quad (8)$$

где $\omega = \frac{n}{1-\theta}$, A и C — константы, определяемые механизмом рассеяния.

Расчитанная по (8) зависимость ПМС от электрического поля и нормированная относительно максимальной величины ОМС для рассеяния носителей на ионах примеси и пьезоэлектрических колебаниях решетки показана на рисунке (кривые 3, 4 соответственно). На этом же рисунке показано и суммарное изменение МС в электрическом поле (кривые 5, 6). Видно, что расчетные кривые качественно согласуются с экспериментальными данными. Учет при вычислении ПМС рассеяния на ионах примеси дает величину критического поля перехода меньшую E_n и близкую к экспериментально наблюдаемой.

В заключение отметим, что количественное согласие можно получить при учете нелинейной зависимости концентрации магнитных центров (или величины магнитного момента рассеивающего центра) от концентрации электронов в примесной зоне. Следует ожидать, что учет смешанного механизма рассеяния при расчете ПМС позволит получить согласие теории с экспериментом и в величинах критического поля перехода от отрицательного магниторезистивного эффекта к положительному в электрическом поле.

Авторы благодарят В. Ф. Стельмаха за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукашевич М. Г., Стельмах В. Ф. — ФТП, 1980, т. 14, № 8, с. 1658.
2. Лукашевич М. Г., Стельмах В. Ф. — Вести. Белорусского ун-та. Сер. I, физ., мат. и мех., 1981, № 3.
3. Лукашевич М. Г., Стельмах В. Ф. — Изв. вузов СССР. Физика, 1981, № 7, с. 51.
4. Toyozawa Y. — J. Phys. Soc. Japan, 1962, v. 17, № 5, p. 986.
5. Киреев П. С. Физика полупроводников. — М., 1975.