

К ТЕОРИИ ЭФФЕКТА ХОЛЛА В СЕТКЕ ИНВЕРСИОННЫХ КАНАЛОВ

Неустров Л. Н.

В [1] предложена модель фоточувствительной поликристаллической пленки PbS. В этой модели предполагается, что на поверхности кристаллитов n -типа проводимости имеются акцепторные состояния, которые захватывают электроны из объема кристаллитов. В результате у поверхности кристаллитов возникают инверсионные каналы p -типа. Считается, что перенос фототока осуществляется фотодырками, движущимися по инверсионным каналам вдоль поверхности кристаллитов. Проведенные в [2, 3] детальные эксперименты показали, что модель [1] и развитая на ее основе теория [4] позволяют количественно описать практически все особенности фотоэлектрических процессов, протекающих в поликристаллических пленках PbS. В работах [5-7] модель [1] использована для расчета эффекта Холла, причем результаты, полученные в [7], отличаются от результатов, полученных в [5, 6]. В настоящем сообщении выполнен более детальный, чем в [5-7], анализ эффекта Холла в поликристаллических пленках типа PbS и выяснены причины, приведшие к различию результатов указанных работ.

На рис. 1 схематически изображен фрагмент поликристаллической пленки и стрелкой указано направление протекания тока. Фрагмент разбит на четыре области. Область 1 имеет n -тип проводимости, а области 2-4 соответствуют инверсионным каналам на поверхности кристаллитов и имеют p -тип проводимости. Формула для холловского напряжения V , генерируемого фрагментом пленки, может быть выведена с помощью эквивалентной схемы (рис. 2) и имеет вид

$$\frac{V}{r} = \left(\frac{V_{1n}}{r_n^+} + \frac{V_{1p}}{r_p^+} \right) + \left(\frac{V_{2n}}{r_n^+} + \frac{V_{2p}}{r_p^+} \right) + \left(\frac{V_{3n}}{r_n^-} + \frac{V_{3p}}{r_p^-} \right) + \frac{V_{4p}}{r_p^-}, \quad (1)$$

где V_{in} и V_{ip} — холловские напряжения, генерируемые электронами и дырками в i -й области фрагмента; r_n^+ и r_p^+ (r_n^- и r_p^-) — поперечные (продольные) сопротивления областей 2 и 3 для электронного и дырочного холловских токов соответственно; $r = r^+ r^- / (r^+ + r^-)$, $r^+ = r_n^+ r_p^+ / (r_n^+ + r_p^+)$, $r^- = r_n^- r_p^- / (r_n^- + r_p^-)$. В эквивалентной схеме и в формуле (1) исходно отброшен холловский ток электронов, генерируемый в области 4. Это связано с тем, что поверхностный изгиб зон в области 4 больше поверхностного изгиба зон в областях 2 и 3 [8]. В результате электронный ток, текущий через область 2, обтекает область 4 по периферии, и холловский ток электронов, генерируемый в области 4, пренебрежимо мал.

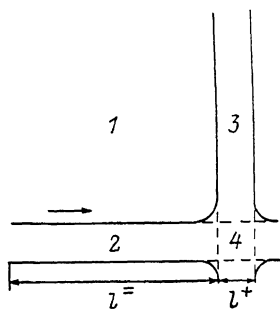


Рис. 1.

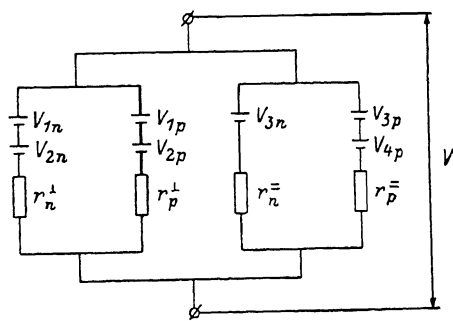


Рис. 2.

Различие результатов работ [5, 6] и [7] является следствием того, что в [5, 6] при расчете V дырочные холловские токи, генерируемые в областях 1-3 [слагаемые V_{1p}/r_p^+ , V_{2p}/r_p^+ и V_{3p}/r_p^- в (1)], считались пренебрежимо малыми по сравне-

нию с электронными холловскими токами, а в работе [7], наоборот, не учитывались электронные холловские токи, генерируемые в областях 2 и 3 [слагаемые V_{2n}/r_n^{\pm} и V_{2n}/r_n^{\mp} в (1)]. Сравним величины электронного и дырочного холловских токов, генерируемых, например, в области 2. Электроны и дырки двигаются вдоль этой области под действием одинакового тянущего электрического поля. Поскольку подвижности электронов μ_n и дырок μ_p в PbS примерно равны, примерно равны и скорости их дрейфа вдоль области 2. Соответственно равны силы Лоренца, действующие в области 2 на электроны и дырки. Следовательно, генерируемый в области 2 холловский ток будет обусловлен носителями того знака, которые имеют большую концентрацию на эффективном уровне протекания соответствующего им холловского тока. Концентрация электронов на уровне протекания электронного холловского тока в области 2 равна концентрации электронов на поверхности кристаллитов n_s^- , а концентрация дырок на уровне протекания дырочного холловского тока равна концентрации дырок в объеме кристаллитов p_v . Поскольку в PbS всегда $n_s^- \gg p_v$, то $V_{2n}/r_n^+ \gg V_{2p}/r_p^+$ и постоянная Холла области 2 имеет отрицательный знак, что соответствует результатам работы [6] и не согласуется с результатами работы [7]. Аналогично можно показать, что $V_{1n}/r_n^+ \gg V_{1p}/r_p^+$ и $V_{3n}/r_n^- \gg V_{3p}/r_p^-$. С учетом этих неравенств эквивалентная схема, приведенная на рис. 2, переходит в упрощенную эквивалентную схему, использованную ранее в [5].

Для величин V_{1n} , V_{2n} , V_{3n} и V_{4p} не трудно получить следующие выражения:

$$V_{1n} = -\frac{j_n^+ l^- B}{q n_p}, \quad V_{2n} = -\frac{\mu_n j_p^- l^+ B}{q \mu_p p_s^-}, \quad V_{3n} = -\frac{\tilde{r} \mu_n j_p^- l^- B}{q \mu_p l^+ p_s^-}, \quad V_{4p} = \frac{j_p^- l^+ B}{q p_s^+}, \quad (2)$$

где q — заряд электронов, l^- и l^+ — длина и ширина инверсионных каналов, j_n^+ и j_p^- — плотность электронного тока, текущего поперек инверсионных каналов, и плотность дырочного тока, текущего вдоль инверсионных каналов, p_s^- и p_s^+ — концентрации дырок на поверхности кристаллитов в областях 2 (или 3) и 4 соответственно, n_p — концентрация электронов в нейтральном объеме кристаллитов, B — магнитная индукция. Подставляя (2) в (1), после несложных преобразований для эффективной постоянной Холла рассматриваемого фрагмента пленки получим формулу

$$R_H = -\frac{1}{q n_p} \left(\frac{r_p^-}{r_p^- + r_n^+} \right)^2 - \frac{2 \mu_n}{q \mu_p p_s^-} \frac{r_p^- r_n^+}{(r_p^- + r_n^+)^2} + \frac{1}{q p_s^+} \left(\frac{r_n^+}{r_p^- + r_n^+} \right)^2, \quad (3)$$

которая ранее была приведена в [6] без вывода.

Л и т е р а т у р а

- [1] Неустроев Л. Н., Осипов В. В. — ФТП, 1984, т. 18, в. 2, с. 359—362.
- [2] Неустроев Л. Н., Онаркулов К. Э., Осипов В. В. — Микроэлектрон., 1986, т. 15, в. 3, с. 244—254.
- [3] Неустроев Л. Н., Онаркулов К. Э., Осипов В. В. — ФТП, 1987, т. 21, в. 6, с. 989—995.
- [4] Неустроев Л. Н., Осипов В. В. — ФТП, 1986, т. 20, в. 1, с. 66—72.
- [5] Атакулов Ш. Б., Неустроев Л. Н., Осипов В. В. — ФТП, 1984, т. 18, в. 12, с. 2235—2237.
- [6] Неустроев Л. Н., Осипов В. В. — ФТП, 1986, т. 20, в. 1, с. 59—65.
- [7] Атакулов Б. Ш. — ФТП, 1987, т. 21, в. 3, с. 415—419.
- [8] Atakulow Sh. B. — Sol. St. Commun., 1984, v. 51, N 6, p. 415—419.

Получено 19.10.1987
Принято к печати 25.11.1987