



ЭФФЕКТ ХОЛЛА В КРЕМНИИ В ОБЛАСТИ СМЕШАННОЙ ПРОВОДИМОСТИ

*Ерманова Роза Ногайхановна,
Научный руководитель: Оразгулыев Б.,
Каспийский Государственный
Университет технологий и
инжиниринга им. Ш. Есенова, г. Актау*

E-mail: ermanova_r@mail.ru

Аннотация. Эффект Холла в сильных магнитных полях меняет свой знак свойства, сперва с положительного на отрицательный, а потом с отрицательного на положительный. В области смешанной проводимости в явлении переноса участвуют легки дырки ($m_{h1}=0,16m_0$), электроны ($m_e=0,26m_0$) и тяжелые дырки ($m_{H2}=0,53 m_0$).

По экспериментальным результатом найден концентрации легких дырок 16,5%, а теоретически-17%, что согласуется с теоретическим значением.

Ключевые слова: напряженность, проводимость, константы Холла.

Успехи, достигнутые в получении сильных магнитных полей дали реальную возможность исследования полупроводников в сильных магнитных полях в широком интервале температур. Особый интерес представляет применение сильных магнитных полей для изучения кинетических эффектов в области смешанной проводимости, когда в полупроводнике имеется несколько типов носителей тока с различной подвижностью, роль которых в формировании гальваномагнитных эффектов изменяется с изменением напряженности магнитного поля. Вклад отдельных типов носителей тока в явления переноса можно определить измерением эффекта Холла.

В полупроводниках обладающих несколькими типами носителей заряда с различной подвижностью, константа Холла становится зависимой от напряженности магнитного поля. Эта зависимость объясняется различным искривлением линий тока носителей с различной подвижностью в магнитном поле. Воздействие магнитного поля на носители тока заключается в том, что изменяет вклад отдельных типов носителей тока в эффект Холла. Вклад отдельных типов носителей тока в эффект Холла зависит от их концентрации и подвижности.

Для исследования зависимости константы Холла от напряженности магнитного поля наиболее удобным материалом является р-Ge, т.к. в р-Ge имеются три типа носителей тока (электроны, тяжелые и легкие дырки), причем, подвижность легких дырок значительно больше подвижности электронов. Наличие этих легких дырок приводит к тому, что константа Холла в слабых магнитных полях становится зависящей от напряженности магнитного поля.

Автором [1] удалось, проводя измерения в сильных импульсных магнитных полях, впервые наблюдать в Германии р-типа двойную смену знака константы Холла в зависимости от напряженности магнитного поля.

Оказалось, что в слабых магнитных полях константа Холла изменяет знак с положительного на отрицательный, а в сильных – с отрицательного на положительный. Экспериментальные результаты [1] не только качественно, но и количественно согласуются с теорией.

Легкие дырки имеются и в кремнии р-типа, но их подвижность незначительно больше подвижности электронов, что осложняет наблюдение первой смена знака константы Холла.

В литературе отсутствуют данные измерений эффекта Холла в кремнии р-типа в магнитных полях, где константа Холла изменяет свой знак.

На рис.1 приводятся некоторые экспериментальные результаты измерения эффекта Холла в кремнии р-типа от напряженности магнитного поля. Измерения проводились на образце $\rho_{300\text{K}}^0 = 40 \text{ Ом.см}$ в импульсных магнитных полях, напряженностью до 260 кЭ. Начальный участок зависимости напряжения Холла от напряженности магнитного поля измерялся и в постоянном магнитном поле (до 30кЭ) и оба они дали одинаковые результаты.

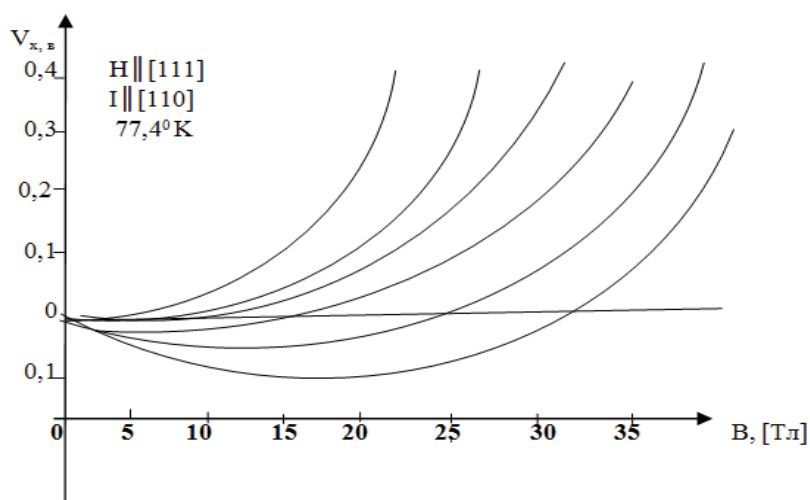


Рис. 1 Зависимость холловского напряжения от напряженности магнитного поля для образца кремния р-типа $\rho_{300\text{K}} = 40 \text{ Ом.см}$ (77°) или при комнатной температуре (300° K)

На рис.1 приведены результаты эксперимента, проведенные для выявления первой смены знака константа Холла. На рис.1 отчетливо видны первая и вторая смены знака константа Холла.

Двойная смена знака константы Холла наблюдается только при соблюдении определенных условий.

Двойная смена знака константы Холла с изменением напряженности магнитного поля показывает, что увеличение температуры приводит к уменьшению поля, при котором наблюдается первая смена знака, и к повышению поля, при котором наблюдается вторая смена знака константы Холла. Первый переход связан с ослаблением вклада легких дырок, а второй – электронов.

По сменам знака константы Холла можно оценить количество носителей тока, участвующих в эффекте Холла в отдельности, воспользуясь соотношением:

$$R_{H \rightarrow 0} = - \frac{3\pi}{8} \frac{n\mu_n^2 - p_1\mu_{p1}^2 - p_2\mu_{p2}^2}{(n\mu_n + p_1\mu_{p1} + p_2\mu_{p2})} \quad (1)$$

где $n, p_1, p_2, \mu_n, \mu_{p1}, \mu_{p2}$ – концентрация и подвижность электронов, тяжелых и легких дырок, соответственно.

При первой смене знака константы Холла участвуют легкие дырки и электроны, следовательно, выражение (1) принимает вид:

$$R_{H \rightarrow 0} = - \frac{3\pi}{8} \frac{n\mu_n^2 - p_2\mu_{p2}^2}{n\mu_n + p_2\mu_{p2}} \quad (2)$$

отсюда

$$n\mu_n^2 = p_2\mu_{p2}^2 \quad (3)$$

Используя литературные данные [2]

$$\frac{m_{p2}}{m_p} = 3,3$$

а также из работы [2]

$$n_i = 1,5 \cdot 10^{33} T^3 e^{-\frac{1,21}{kT}}, \quad \mu_n \sim T^{-2,6} \text{ и } \mu_p \sim T^{-2,3}$$

находим $\frac{p_2}{p_1} = 0,17$, что хорошо согласуется с данными [2] - 0,165.

Расчет проводился для образца кремния р-типа ($\rho_{300K} = 40 \text{ Ом.см}$). Кривые рисунка не строились по точкам, а представляют собой увеличение осциллограммы. Как видно из рисунка с изменением температуры и напряженности магнитного поля соотношение между отдельными составляющими эффекта Холла изменяется, так как результирующее поле

Холла образуется составляющими, обусловленными отдельными типами носителей тока.

Температурная зависимость удельного сопротивления исследуемого образца свидетельствует, что в интервале температур 200-450⁰ К $\mu_{p1} \sim T^{-2,3}$. Отклонение зависимости от закона $\mu_{p1} \sim T^{-1,5}$ связано с непараболичностью зоны. Вследствие непараболичности подзоны тяжелых дырок эффективная масса проводимости возрастает с температурой, так как в результате увеличения средней тепловой энергии kT , дырки занимают те уровни в подзоне, где непараболичность больше.

Литература:

1. Завадский Э.А., Коврижных Ю.Т., Факидов И.Г. «Зависимость константы Холла в p-Ge от напряженности магнитного поля» ЖЭТФ, 1961, т.40, с 1229-1230.
2. Johnson V. A, Whitesell W.I. «Theory of the Magnetoresistance Effect in Semfemductors» Phys. Rev; 1953, v.89, № 5, p.941-947.
3. Морин Ф., Манто Дж. «Проблемы физики полупроводников» М.ИЛ. 1957.