

УДК 621.315.592

*Нальгиева М. А., к.ф.-м.н.  
доцент кафедры общей физики  
Ингушский государственный университет*

*Россия, г. Магас*

*Ганиева З.М., студентка магистратуры  
Ингушский государственный университет*

*Россия, г. Магас*

## **ОСОБЕННОСТИ ЗОНДОВЫХ МЕТОДОВ ЛОКАЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ХОЛЛА**

Аннотация. В данной работе предлагается распространение двухзондового метода измерения удельной электропроводности на определение коэффициента Холла локальным способом, т.е. проведение необходимых измерений в любой области плоской поверхности полупроводникового кристалла. При этом в случае изотропного образца возможно совместное их измерение в рамках одной методики.

Ключевые слова: двухзондовый метод; коэффициент Холла.

*Nalgieva M.A., Ph.D.*

*Associate Professor, Department of General Physics*

*Ingush State University*

*Russia, city of Magas*

*Ausheva H.A., graduate student*

*Ingush State University*

*Russia, city of Magas*

## **FEATURES OF PROBE METHODS FOR LOCAL MEASUREMENT OF THE HALL COEFFICIENT**

Annotation. In this paper, we propose the extension of the two-probe method for measuring electrical conductivity to determine the Hall coefficient by a local method, i.e. carrying out the necessary measurements in any area of the flat surface of the semiconductor crystal. In this case, in the case of an isotropic sample, it is possible to measure them together within the framework of one technique.

Key words: two-probe method; Hall coefficient.

Измерения одних из основных кинетических коэффициентов полупроводниковых монокристаллов таких, как коэффициент Холла и удельная электропроводность, позволяют получать информацию о концентрации и подвижности свободных носителей заряда. Для определения электропроводности в настоящее время широко используются зондовые методы благодаря их простоте, надежности и воспроизводимости [1-4]. Однако измерение коэффициента Холла с помощью зондов в настоящее время сдерживается ввиду громоздкости математических выражений для поправочных множителей, входящих в расчетные формулы.

В данной работе ставится цель – усовершенствовать существующую методику зондовых методов измерений коэффициента Холла для изотропных полупроводников в направлении ее физической ясности, простоты и точности [1]. Для достижения этой цели нами предложена довольно простая теоретическая модель определения эффекта Холла, которая содержит минимум упрощающих предположений, приводит к физически простым и ясным результатам.

Расчеты выполнены применительно к пластинам и слоям, размеры которых значительно больше их толщины. В этих случаях распределение потенциала в исследуемых образцах является двумерным. Математическая

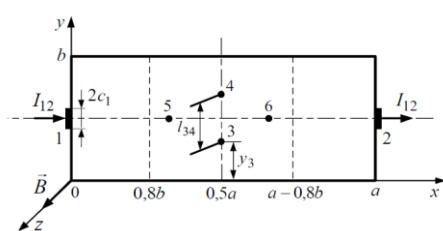


Рис. 1 Схема расположения контактов на полупроводниковом образце

модель предполагает измерение э.д.с. Холла в области относительно слабых магнитных полей, когда можно пренебречь эффектом магнетосопротивления и пригодна только в том случае, когда расстояние между измерительными зондами много больше, чем длина свободного пробега носителей заряда [3].

В рассматриваемом случае по прямоугольному изотропному образцу, электропроводностью  $\sigma$ , протекает постоянный ток через контакты 1 и 2,

расположенные на периметре образца (рис. 1). Толщина кристалла  $d$  меньше его длины  $a$  и ширины  $b$ . Магнитное поле индукцией  $\vec{B}$  направлено перпендикулярно плоскости образца вдоль оси  $OZ$ . При этих условиях выражение для потенциала  $\varphi$  в области полупроводника удобно представить в следующем виде

$$\varphi(x, y) = \varphi_0(x, y) + \varphi_H(x, y);$$

$$\varphi_0(x, y) = \frac{I_{12}}{\sigma d} L.$$

Здесь  $\varphi_0(x, y)$  - есть потенциал электрического поля в образце при отсутствии внешнего магнитного поля,  $\varphi(x, y)$  – потенциал поля Холла, которое возникает после включения внешнего магнитного поля.

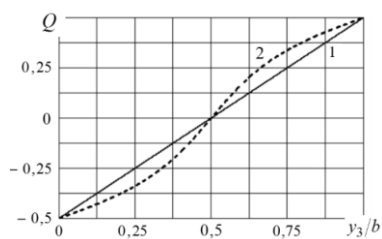


Рис.2 Зависимость множителя  $Q$  от  $y_3/b$  для различных значений координаты  $x$ .

На рис. 2 представлен график зависимости безразмерного множителя  $Q$  от относительной координаты холловского зонда  $y_3/b$  для

различных значений координаты  $x$ : линейная зависимость 1 для средней части образца в области значений  $0,8 \leq x \leq (a - 0,8 b)$ ; кривая 2 в приконтактной области при  $x=0,2b$ .

Из графиков следует, что в средней части образца в области  $0,8 \leq x \leq (a - 0,8 b)$  ряд в правой части равенства пренебрежимо мал, поэтому с погрешностью менее 1% потенциал поля Холла  $\varphi_H$  зависит от  $y$  линейно, т.е. определяется выражением:

$$\varphi_H(y) = \frac{I_{12}RB}{d} \frac{y - 0,5b}{b}.$$

Распределение потенциала поля Холла в областях растекания тока вблизи токовых контактов является более сложным.

Из рис. 2 видно, что зависимость  $Q\left(y_3/b\right)$  в приконтактных областях является существенно нелинейной.

Из проведенного анализа результатов компьютерного моделирования полученных математических выражений можно предложить следующую методику совместного измерения коэффициента Холла и электропроводности в изотропных полупроводниках.

1. Расположить токовые контакты 1 и 2 и измерительные зонды 3 и 4 согласно схеме на рис. 1. Измерить расстояние между зондами  $l_{34}$ .

2. Через токовые контакты 1 и 2 пропустить постоянный ток  $I_{12}$  и измерить разность потенциалов  $U_{34}^0$  между зондами 3 и 4 при отсутствии внешнего магнитного поля.

3. Затем образец поместить в поперечное относительно слабое магнитное поле и при том же токе  $I_{12}$  измерить разность потенциалов  $U_{34}$  между зондами 3 и 4 в магнитном поле. Э.д.с. Холла при этом равна разности измеренных значений  $E_H = U_{34} - U_{34}^0$ .

4. Вычислить коэффициент Холла  $R$ :

$$R = \frac{E_H db}{I_{12} B l_{34}}$$

Для этого при токе  $I_{12}$  через контакты 1, 2 измеряем разность потенциалов  $U_{56}$  между зондами 5 и 6, расположенными в выделенной области  $0,8b \leq x \leq (a - 0,8b)$ , при отсутствии внешнего магнитного поля и расстояние  $l_{56}$  между ними (рис. 1). Удельная электропроводность материала образца вычисляется по формуле

$$\sigma = \frac{I_{12} l_{56}}{U_{56} db}$$

Следует заметить, что представленная методика означает распространения известного двухзондового метода измерения

электропроводимости полупроводниковых образцов на определение коэффициента Холла.

Отметим некоторые практические рекомендации по реализации данной методики.

При проведении экспрессных измерений в качестве токовых контактов удобно использовать прижимные заточенные зонды, смещенные на некоторую величину  $\Delta x$  от границ образца.

Следует отметить полезное для практики правило обратимости токовых и измерительных зондов, которое заключается в следующем. Если пропускать ток  $I_{12}$  через контакты 1 и 2, то величина э.д.с. Холла между контактами 3 и 4 в магнитном поле будет составлять некоторое значение  $E_{34}$ . Если затем пропускать такой же ток через контакты 3 и 4 ( $I_{12} = I_{34}$ ) в таком же магнитном поле, то между контактами 1 и 2 возникает э.д.с. Холла  $E_{12}$ , равная по величине  $E_{12} = E_{34}$ . Если в процессе измерений данное равенство выполнено, то это будет дополнительно свидетельствовать об однородности исследуемого образца и повысит достоверность получаемых результатов. Правило обратимости токовых и измерительных зондов при измерениях эффекта Холла доказывается как теоретическими расчетами, так и экспериментальными измерениями. Данное правило полезно для контрольных измерений на полупроводниках.

Литература.

1. Филиппов В.В. Моделирование электрических полей при зондовых измерениях в анизотропных полупроводниковых пленках// Конденсированные среды и межфазные границы. 2011. Т.13 №4.С.499-503.

2. Филиппов В.В. Явления электронного переноса в анизотропных и низкоразмерных полупроводниковых структурах: Дис. д-ра. физ.-мат. наук: 01.04.10 /В.В. Филиппов. – Липецк, 2012. – 358 с.

3. Голубятников В.А. Метод исследования гальваномагнитных свойств  $Cd_xHg_{1-x}Te$  и  $Cd_xHg_{1-x}Te/Cd_{1-y}Zn_yTe$  // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2015. – Т. 20. – № 6. – С. 576-581.

4. Заворотный А. А. Особенности контактных методов измерений кинетических коэффициентов анизотропных полупроводниковых структур  
Дис.к. ф-м н. Липецк-2017, 246 с.