

ПОСТОЯННАЯ ХОЛЛА В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ГЦК МЕТАЛЛОВ

А.А. Соловьев, В.М. Березин, М.А. Ермакова

Экспериментально исследован эффект Холла в тонкопленочных образцах ГЦК металлов, полученных методом термовакuumного напыления через маску на поликоровых подложках. Обнаружено расхождение постоянной Холла с расчетными из модели свободных электронов в пленках серебра.

Эффект Холла в тонких пленках может использоваться при создании микросенсорных электронных устройств, а также как метод контроля технологических процессов производства микро- и нанoeлектронных приборов. В виду малой толщины пленочного образца, величина ЭДС Холла может достигать достаточно больших величин в металлических образцах, изготовление которых технологически проще, чем полупроводниковых.

Применение методов неразрушающего контроля толщины формируемых пленочных структур, их электронно-кинетических характеристик имеет большое значение в технологиях микро и нанoeлектронике. Одним из таких удобных и дешевых методов может быть метод эффекта Холла. Этот метод позволяет легко определить величину подвижности электронных (дырочных) носителей тока. Оценки величины ЭДС Холла в металлической пленке толщиной 0,1 мкм, по известной эмпирической формуле, дают значение ~ 1 мВ. Однако это формула получена для объемных образцов и не учитывает возможное влияние подложки на формирование ЭДС Холла.

В работе приводятся экспериментальные результаты измерения ЭДС Холла в тонкопленочных металлических образцах, сформированных на поликоровых подложках методом фотолитографии. Образцы имели форму прямоугольников с длиной $a = 48$ мм, шириной $b = 10$ мм.

Схема экспериментальной установки предоставлена на рис. 1.

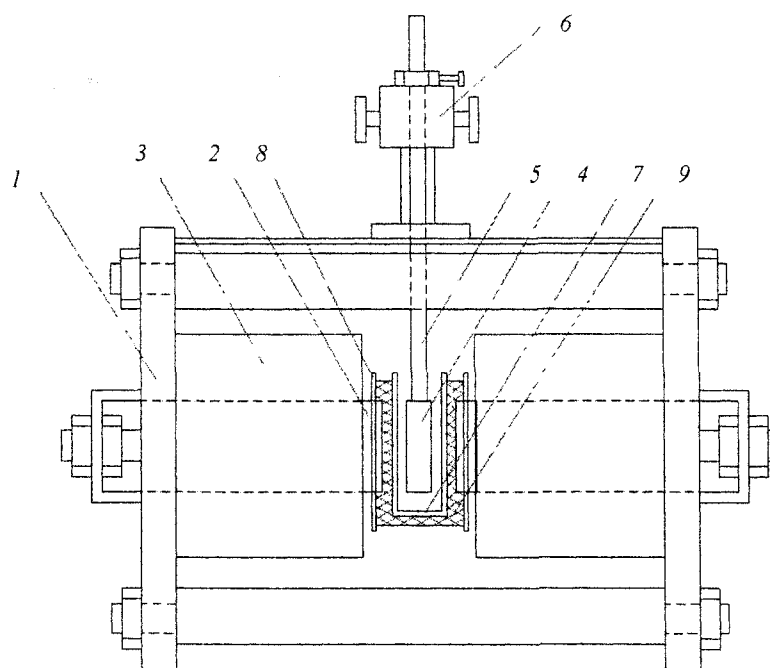


Рис. 1. Схема экспериментальной установки
 1 - корпус электромагнита; 2 - сердечник; 3 - обмотка; 4 - кювета для образца;
 5 - держатель кюветы; 6 - регулятор положения кюветы; 7 - дюар;
 8 - корпус для дюара; 9 - полиуретановая монтажная пена

Напряжение Холла измерялось с помощью микровольтметра с нижним пределом измерения 10 мкВ на постоянном токе. Ток через образец обеспечивался химическим источником.

Напряжение эквипотенциальности учитывалось путем изменения направления течения тока через образец. Линейная зависимость измеряемых напряжений между холловскими контактами для измеряемых образцов от индукции магнитного поля соответствует эффекту Холла (рис. 2-4).

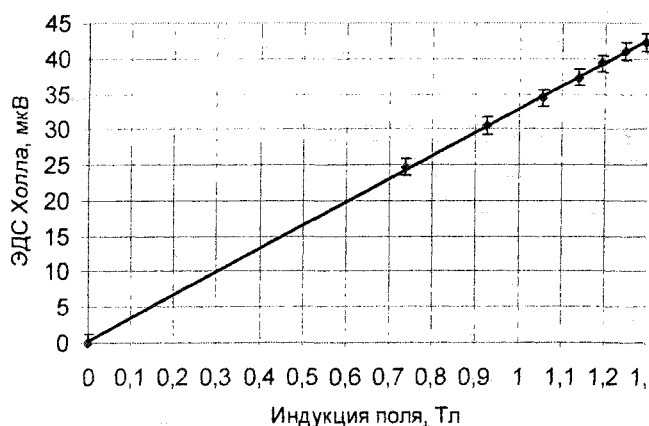


Рис. 2. Зависимость ЭДС Холла от индукции поля (образец меди)

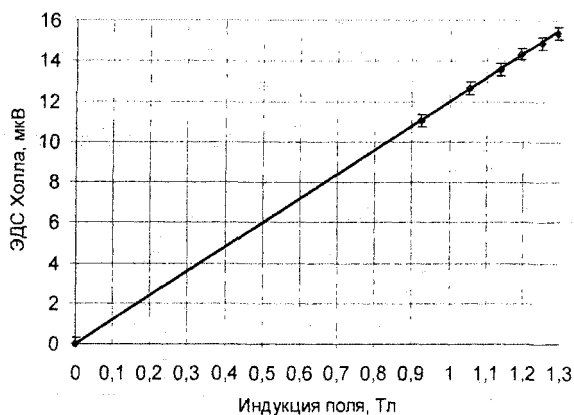


Рис. 3. Зависимость ЭДС Холла от индукции поля (образец алюминия)

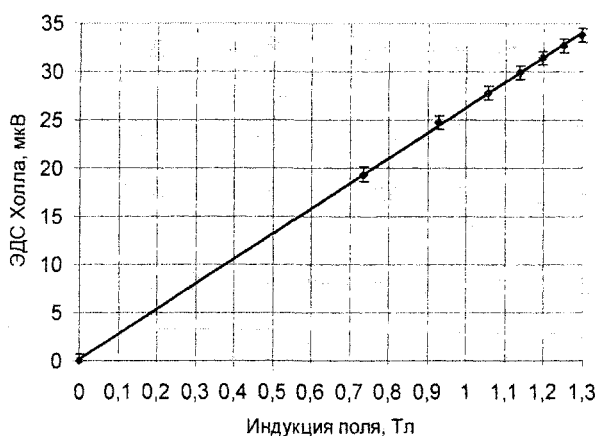


Рис. 4. Зависимость ЭДС Холла от индукции поля (образец серебра)

Величина расчетной постоянной Холла R_x определяется из формулы (1)

$$R_m = \frac{1}{en}, \quad (1)$$

где n - концентрацию носителей тока для исследуемого материала; и является отражением теории свободных электронов.

Формула

$$R_s = \frac{\epsilon_x d}{IB} \quad (2)$$

- позволяет рассчитать величину постоянной Холла, опираясь на экспериментальные значения, полученные в ходе исследования и, таким образом, подтвердить или опровергнуть достоверность данных о величине постоянной Холла, рассчитанной на основе теории свободных электронов. Табл. 1 содержит данные о величине постоянной Холла рассчитанные по формуле (1).

Геометрическая толщина образца - d , определялась с помощью зондового сканирующего микроскопа Solver Pro по результатам сканирования края пленки.

Таблица 1

Значение постоянной Холла (теория свободных электронов)

Металл	Cu	Al	Ag
Постоянная Холла $R_H, 10^{-10} \text{ м}^3/\text{Кл}$	-7,39	-3,45	-10,67

Здесь и далее знак минус говорит о наличии электронной проводимости в металле.

В табл. 2 приведены данные зависимости постоянной Холла от индукции магнитного поля, рассчитанные по формуле (2).

Таблица 2

Зависимость постоянной Холла от индукции магнитного поля

Индукция магнитного поля, Тл	Постоянная Холла $R_H, 10^{-10} \text{ м}^3/\text{Кл}$		
	Cu	Al	Ag
0,000	-	-	-
0,736	-7,55	-	-3,69
0,926	-7,39	-3,28	-3,73
1,055	-7,34	-3,29	-3,68
1,138	-7,37	-3,29	-3,67
1,194	-7,39	-3,30	-3,68
1,249	-7,39	-3,28	-3,66
1,295	-7,35	-3,27	-3,65

Табл. 3 содержит среднее значение постоянной Холла, полученное в ходе эксперимента для каждого образца.

Таблица 3

Среднее значение постоянной Холла (эксперимент)

Металл	Cu	Al	Ag
Постоянная Холла $R_H, 10^{-10} \text{ м}^3/\text{Кл}$	-7,37	-3,29	-3,68

Табл. 4 отражает величину среднеквадратичного отклонения, с которым получено экспериментальное значение постоянной Холла.

Таблица 4

Среднеквадратичное отклонение постоянной Холла

Металл	Cu	Al	Ag
Погрешность $\Delta R_H, 10^{-10} \text{ м}^3/\text{Кл}$	0,48	0,15	0,26

Таким образом, в рамках данной работы, был произведен расчет величин R_m и R_s с учетом погрешностей. Полученные результаты сведены в таблицу 5, также там отражены данные для R_m и R_s , для сравнения, приведенные из источника [4], где постоянная Холла была измерена для пленок ряда металлов, в том числе и использованных в настоящей работе, при комнатных температурах.

Таблица 5

Сводная таблица для постоянной Холла

Металл	Постоянная Холла $R_H, 10^{-10} \text{ м}^3/\text{Кл}$			
	Теория свободных электронов		Эксперимент	
	Настоящая работа	Источник [2]	Настоящая работа	Источник [2]
Cu	-7,39	-7,4	-7,37	-5,6
Al	-3,45	-3,4	-3,29	-3,0
Ag	-10,67	-10,4	-3,68	-8,4

Выводы и обсуждение

Несовпадение измеряемой и расчетной из модели свободных электронов постоянной Холла для пленок серебра может быть связано со следующими обстоятельствами. Как показали исследования на зондовом сканирующем микроскопе, пленки серебра имеют существенно большую шероховатость и столбчатую микроструктуру. Кроме того, эта пленка имела меньшую геометрическую толщину (140 нм) по сравнению с пленками меди и алюминия используемыми в эксперименте. Это может служить дополнительным фактором уменьшения эффективной толщины пленки за счет поверхностных эффектов, прежде всего, на границе с подложкой. Оба приведенных фактора приводят к занижению экспериментально определенной по формуле (2) постоянной Холла, т.к. в этой формуле фигурирует геометрическая толщина d .

Литература

1. Кучис, Е.В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования / Е.В. Кучис. - М.: Радио и связь, 1990 - 264 с.
2. Leonard, W.F. / W.F. Leonard, S.F. Lin // J. Appl. Phys. - 1970. - С 41.
3. Чопра, К.Л. Электрические явления в тонких пленках / К.Л. Чопра, под ред. Т.Д. Шермергора. - М.: Мир, 1972 - 425 с.
4. Особенности наноструктуры и удельной проводимости тонких пленок различных металлов / И.В. Антонец, Л.Н. Котов, С.В. Некипелов, Е.А. Голубев // Журнал технической физики. - 2004. - Т. 74. - Вып. 3. - С. 24-27.
5. Быков, Ю.А. О некоторых особенностях структуры и свойств металлических «тонких» пленок / Ю.А. Быков, С.Д. Карпухин, Е.И. Газукина // МиТОМ. - 2000. - № 6. - С. 45-47.

*Поступила в редакцию 20 сентября 2007 г.
Представлена в окончательном виде 1 октября 2007 г.*