

УДК 621.315.592

НОВЫЙ МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ МОДЕЛИ ИНВЕРСИОННОГО СЛОЯ АНОМАЛЬНОГО ЭФФЕКТА ХОЛЛА ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Син Сюй, Ван Си-фу

Сообщается новый метод экспериментальной проверки модели инверсионного слоя аномального эффекта Холла при комнатной температуре на образце *n*-Ge. Результат хорошо соответствует теоретической модели.

Введение. Ныне существуют разные модели аномального эффекта Холла [1-3].

Путем теоретического изучения можно обнаружить закономерность аномального эффекта Холла при комнатной температуре. Тем самым открываются новые перспективы разработки и изготовления полупроводниковых приборов, основывающихся на аномалии инверсии полярности разности холловского потенциала при комнатной температуре.

После обнаружения аномальных электромагнитных свойств при комнатной температуре на образце *n*-Ge [4-6] по модели инверсионного слоя успешно рассчитан аномальный эффект Холла при комнатной температуре [7].

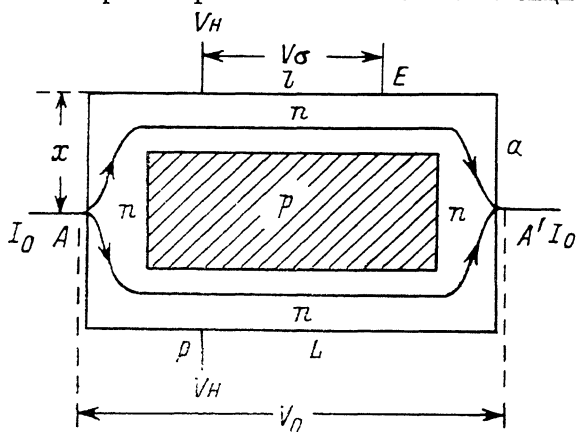


Рис. 1. Протекание тока по инверсионному поверхностному слою *n*-типа.

Гусев и др. экспериментально проверили теоретическую модель инверсионного слоя аномального эффекта Холла при низкой температуре на образце InAs [8]. В их методе эксперимента было два недостатка: во-первых, образец разрушился в процессе эксперимента, во-вторых, экспериментальная проверка модели и измерение коэффициента Холла производились не одновременно. Это влияло на степень достоверности проверки.

Мы предлагаем новый метод экспериментальной проверки модели инверсионного слоя, в котором указанные недостатки полностью изжиты. В данной статье описываются метод экспериментальной проверки модели и ее результат.

Метод и результат эксперимента

Исходный образец — *n*-Ge, в котором концентрация электронов при комнатной температуре $n=N_a=2,5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. По методу Коноровой [9] в результате термообработки при $T=670^\circ \text{C}$ образуется структура инверсионного слоя, которая показана на рис. 1. Внешний слой образца — инверсионный *n*-слой, толщина

которого $d_s = 0.02$ см. Измерение электропроводности при комнатной температуре показывает, что степень неоднородности концентрации электронов по инверсионному слою не больше 8%. Центральная часть образца обладает p -типом проводимости.

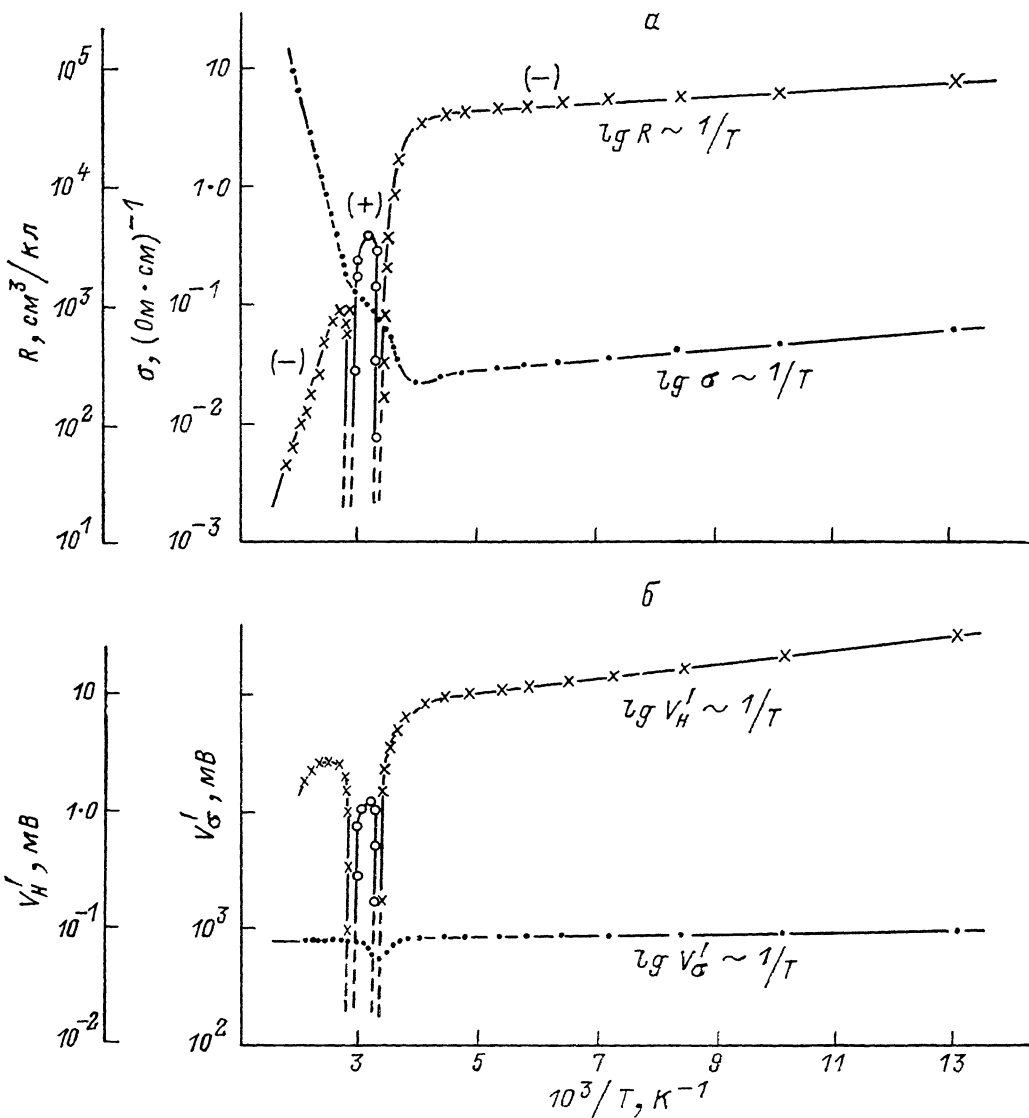


Рис. 2.

Зависимости $\lg R \sim 1/T$ и $\lg \sigma \sim 1/T$ при постоянном токе (а); $\lg V_H' \sim 1/T$ и $\lg V_\sigma' \sim 1/T$ при постоянном напряжении (б).

Нами при каждой постоянной температуре методом DC измерены: 1) разность потенциалов Холла V_H и проводимости V_σ при постоянном токе $I_0 = 2.44$ мА; 2) разность потенциалов Холла V_H' и проводимости V_σ' при постоянном напряжении $V_0 = 1.2815$ В; 3) характеристики $V-I$ между электродами Холла C и D , между электродами проводимости C и E , между электродами тока A и A' . Величины V и I измерены на одних контактах. Разность потенциалов Холла измерена при магнитной индукции $B = 1.00$ кГс. Измерения характеристик $V-I$ между электродами Холла, электродами проводимости и тока до термообработки образца показали, что омичность всех контактов хорошая. После термообработки образца измерения характеристик $V-I$ между указав-

ными электродами при температуре 77 К показали, что омичность этих же контактов тоже хорошая.

Указанные измерения позволили построить следующие кривые: 1) зависимости $\lg R \sim 1/T$ и $\lg \sigma \sim 1/T$ при постоянном токе (рис. 2, а); эти кривые соответствуют полученным ранее результатам [1]; 2) зависимости $\lg V_H' \sim 1/T$ и $\lg V_H'' \sim 1/T$ при постоянном напряжении (рис. 2. б); 3) характеристики $V-I$ между электродами Холла C и D , проводимости C и E , тока A и A' образца при разных температурах (рис. 3).

Экспериментальная проверка модели инверсионного слоя

По указанным результатам эксперимента можно проверить модель инверсионного слоя аномального эффекта Холла при комнатной температуре. Главные соображения следующие [7].

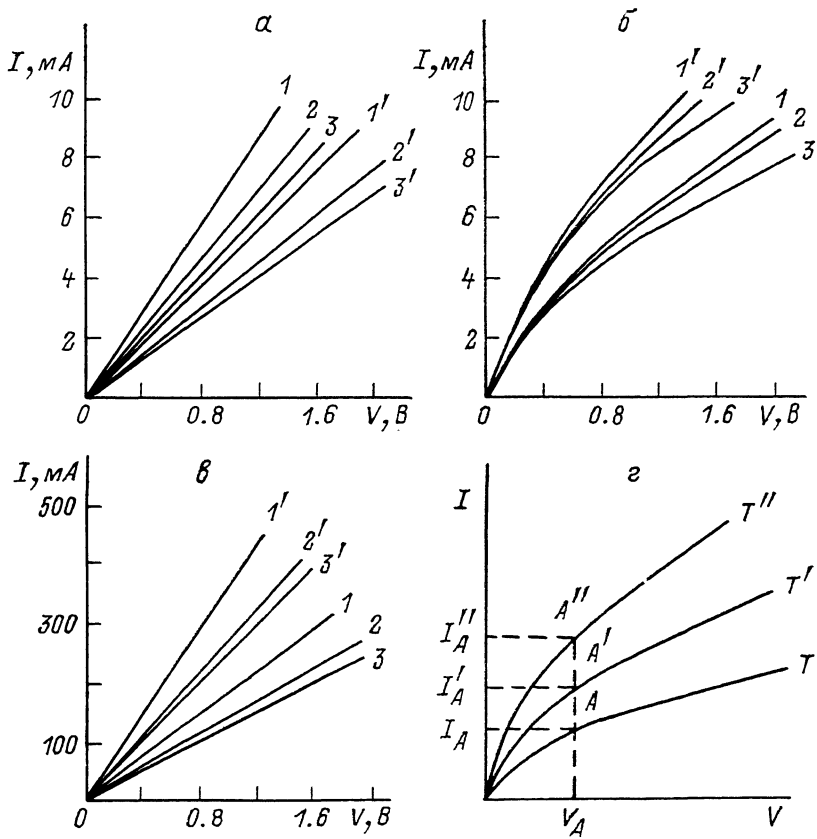


Рис. 3.

Характеристики $V-I$ между электродами Холла (1, 1'), проводимости (2, 2') и тока (3, 3') при $T=100$ и 193 К соответственно (а); характеристики $V-I$ между электродами Холла (1, 1'), проводимости (2, 2') и тока (3, 3') при $T=293$ и 321 К соответственно (б); характеристики $V-I$ между электродами Холла (1, 1'), проводимости (2, 2') и тока (3, 3') при $T=435$ и 500 К соответственно (в); характеристики $V-I$ при разных температурах ($T' > T'' > T$) (г).

1. В области нормального эффекта Холла при низкой температуре только внешний слой n -типа образца проводит ток. В этом случае образец ведет себя, как однородный приповерхностный слой n -Ge.

I) Образец обладает электронной проводимостью, так как в этом интервале температур измеренный коэффициент Холла R и измеренная разность потенциалов Холла V_H' являются отрицательными.

II) Структура однородна.

а) Для однородного образца соотношение $\lg V'_\sigma \sim 1/T$ при постоянном напряжении должно быть горизонтальной прямой. Результат эксперимента действительно такой (рис. 2, б).

б) Для однородного образца характеристика $V-I$ при какой бы то ни было температуре должна быть прямой. Результат эксперимента действительно такой (рис. 3, а).

III) Приповерхностный слой проводит ток.

а) Размеры образца следующие (рис. 1): длина $L=1.329$ см; расстояние между электродами проводимости $l=0.407$ см; ширина $a=0.495$ см; толщина $b=0.238$ см. Если полный образец проводит ток, то

$$\frac{V'_\sigma}{V_0} = \frac{l}{L} = 0.306. \quad (1)$$

Если же только приповерхностный слой образца проводит ток (рис. 1), то

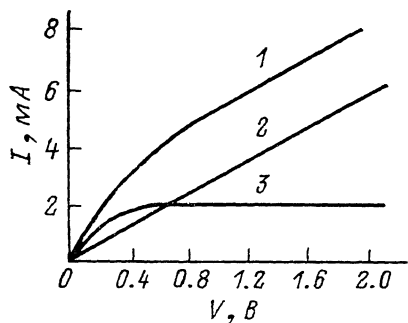


Рис. 4. Кривая $V-I$ обратно смещенного $p-n$ -перехода (3).

Кривая $V-I$ приповерхностного слоя n -типа (2), их результирующая кривая $V-I$ (1).

$$\frac{V'_\sigma}{V_0} = \frac{l}{L+2x}, \quad \left(0 < x < \frac{a}{2}\right),$$

где x — расстояние от токового контакта A (или A') до поверхности образца, на которой находится электрод C (или D) (рис. 1). Поэтому

$$0.223 < \frac{V'_\sigma}{V_0} < 0.306. \quad (2)$$

Результат эксперимента $V'_\sigma/V_0=0.269$. Отсюда следует, что приповерхностный слой проводит ток.

б) Если приповерхностный слой проводит ток, то проводимости, вычисленные по размеру этого слоя [7] и по кривым $V-I$ между любыми электродами, должны равняться друг другу, а вычисленные по размеру всего образца проводимости σ между разными электродами не должны быть равны друг другу. Результаты эксперимента следующие: по размеру приповерхностного слоя и по кривым $V-I$ между электродами Холла и между электродами тока при температуре 121 К получаются проводимости соответственно $\sigma_1=3.27 \cdot 10^{-2}$, $\sigma_2=3.20 \cdot 10^{-2}$ (Ом·см⁻¹), а вычисленные по размеру всего образца — $\sigma_1=1.08 \times 10^{-2}$, $\sigma_2=2.47 \cdot 10^{-2}$ (Ом·см⁻¹). Отсюда следует, что приповерхностный слой образца проводит ток.

2. В интервале температур аномального эффекта Холла образец неоднороден. Он составлен из приповерхностного слоя n -типа, обратно смещенного $p-n$ -перехода и p -области. Эти разные части образца совместно проводят ток.

I) Образец неоднороден.

а) В этом интервале температур при постоянном напряжении соотношение $\lg V'_\sigma \sim 1/T$ будет не горизонтальной прямой, а кривой (рис. 2, б), что, согласно выражению (1), свидетельствует о неоднородности образца.

б) В этом интервале температур характеристики $V-I$ для всех электродов также будут не прямыми, а превратятся в кривые (рис. 3, б). Это также свидетельствует о том, что образец неоднороден.

II) В образце приповерхностный слой n -типа и обратно смещенный $p-n$ -переход параллельно соединены и проводят ток.

а) В этом интервале температур кривые $V-I$ между всеми электродами имеют одинаковую форму (рис. 3, б). На наш взгляд, на рис. 4, складывая кривую 2 $V-I$ приповерхностного слоя n -типа и кривую 3 $V-I$ обратно смещенного $p-n$ -перехода, можно получить результирующую кривую 1 их эквивалентной параллельно соединенной цепи.

б) В этом интервале температур при повышении напряжения V кривые $V-I$ между всеми электродами превращаются в прямые в точке V_1 . Здесь же силы тока и угловые коэффициенты прямых монотонно увеличиваются с повышением температуры (рис. 3, з). Это — результат увеличения обратного тока насыщения $p-n$ -перехода и электропроводности приповерхностного n -слоя при повышении температуры.

в) Из анализа модельной теории следует, что в интервале температур аномального эффекта начальная температура T_1 превращения прямых $V-I$ в кривые $V-I$ и начальная температура T_2 обратного процесса для электродов Холла являются самыми высокими; T_1, T_2 для электродов проводимости немного ниже, а T_1, T_2 для электродов тока еще ниже. Результат эксперимента с этим согласуется (см. таблицу).

3. В интервале высоких температур $p-n$ -переход не действует и весь образец опять становится однородным с собственной проводимостью.

I) Образец однороден.

а) В этом интервале температур кривые $V-I$ для всех электродов превращаются в прямые (рис. 3, в).

б) В этом интервале температур при постоянном напряжении кривая $\lg V'_c \sim 1/T$ опять превращается в горизонтальную прямую (рис. 2, б).

II) Собственная проводимость.

Из результата эксперимента следует, что в интервале высоких температур кривые $\lg R \sim 1/T$ и $\lg \sigma \sim 1/T$ при постоянном токе представляют собой прямые (рис. 2, а). По угловому коэффициенту прямых можно получить ширину запрещенной зоны E_g , которая соответствует общепризнанной величине E_g для германия.

III) Весь образец проводит ток.

В интервале высоких температур по размеру всего образца и по кривым $V-I$ для любых электродов мы вычислили электропроводности, которые приблизительно равны друг другу. Так, при $T=415$ К по кривым $V-I$ для электродов Холла и тока получены электропроводности соответственно $\sigma_1=0.85$, $\sigma_2=0.88$ (Ом·см⁻¹).

Так как в указанном эксперименте для проверки модели мы измеряем соответствующие величины при проявлении аномального эффекта Холла, не разрушая образца, то данный эксперимент можно повторять. Поэтому описанный метод можно считать более рациональным.

Список литературы

- [1] Chen M. C. // J. Appl. Phys. 1989. V. 65. N 4. P. 1571—1577.
- [2] Германенко А. В., Кружаев В. В., Миньков Г. М., Рут О. Э. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 6. С. 992—997.
- [3] Benzaquen M., Walsh D., Mazuruk K. // Sol. St. Commun. 1987. V. 61. N 12. P. 803—805.
- [4] Xing Xu // Kexue Tongbao (Sci. Bull.). 1986. N 19. P. 1313—1315.
- [5] Xing Xu // Kexue Tongbao (Sci. Bull.). 1987. V. 32. N 11. P. 737—739.
- [6] Xing Xu, Yang Chun-fang // Kexue Tongbao. 1987. V. 32. N 24. P. 1857—1860.
- [7] Ван Си-фу, Син Сюй, Цзян Вэй // ФТП. 1990. Т. 24. В. 4. С. 631—634.
- [8] Гусев О. К., Киреев В. П., Ломтев А. А., Яржембицкий В. Б. // ФТП. 1983. Т. 17. В. 6. С. 1153—1155.
- [9] Конорова Л. Ф. // ФТТ. 1978. Т. 20. В. 8. С. 2507—2508.

Северо-восточный
педагогический университет
Чаячунь, КНР

Получена 14.02.1990
Принята к печати 17.08.1990