

Г. М. Авакьянц, чл.-корр. АН Арм. ССР, И. Р. Альтман, Л. С. Хавин и  
 А. В. Юровский

### Измерение ЭДС Холла в базе кремниевого диода с отрицательным сопротивлением

(Представлено 20/IV 1966)

Одной из возможных причин, приводящих к появлению отрицательного сопротивления в диодах из сильно компенсированного материала, может явиться полевая ионизация глубоких центров. Для выяснения такой возможности в диодах из кремния, компенсированного золотом до удельных сопротивлений в десятки килоом. см., нами исследовалось распределение ЭДС Холла в поле напряженностью 1000 эрстед на диодном шлифе с отрицательным сопротивлением. Диоды изготавливались из кремния, легированного золотом (исходное удельное сопротивление до компенсации — 0,4 ом. см.). Вплавлением алюминиевой проволоочки создавался р-п переход, тыловой контакт осуществлялся вплавлением золота с 0,1% сурьмы. Шлифы изготавливались таким образом, что позволяли обнажать участки базы со сторон, противоположных р-области. В исследуемых диодах, как показали наши измерения, до участка срыва на отрицательное сопротивление

$$\tau_n / \tau_p \approx 200 \div 300, \quad (1)$$

так что можно говорить о монополярной электронной проводимости в базе диода на этом участке.

Поскольку исследуемые диоды относились к так называемым „длинным“

$$\frac{d}{L_p} \geq 10, \quad (2)$$

то в большей части базы, в особенности возле тылового контакта, осуществлялся чисто дрейфовый механизм тока (наши измерения показали, что начиная примерно с 15 мк от р-п перехода выполнялось условие  $E > kT/eL_p$ ).

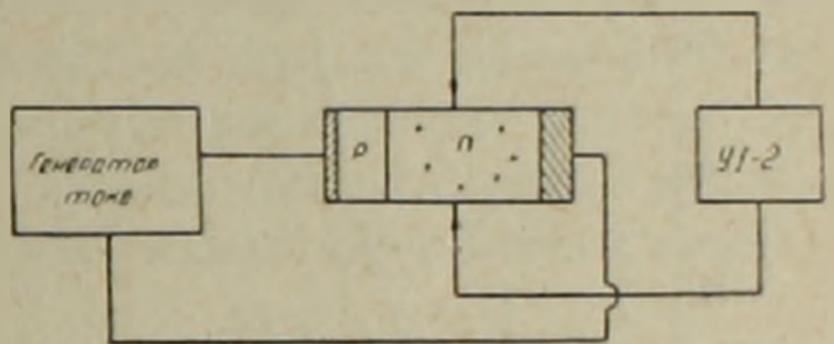
Пользуясь обычной холловской формулой:

$$V_x = \frac{\mu_n E H l}{c}, \quad (3)$$

можно оценить величину напряженности поля в любой точке базы в области, где справедливо (3). Кроме этого из полученных данных можно судить о знаке носителей, ответственных за перенос тока, по знаку холловской ЭДС.

Нами были проведены измерения ЭДС Холла на диодных шлифах в специальном микроманипуляторе в экранированном помещении. В качестве измерительного прибора использовался электромметр У1-2. Принципиальная схема измерений представлена на фиг. 1. Измерения ЭДС проводились в предварительно выбранных эквипотенциальных точках. Результаты для одного из диодов представлены на фиг. 2. вместе с вольт-амперной характеристикой (фиг. 3). Знак ЭДС Холла на всем участке вольт-амперной характеристики в трех исследуемых точках шлифа указал на преобладание электронной составляющей тока. (Аналогичные результаты были получены на других шлифах).

До участка отрицательного сопротивления эти измерения можно определено интерпретировать в пользу монополярности тока. Это было, в частности, подтверждено нашими измерениями зависимости времени жизни электронов от прямого тока, показавшими, что условие



Фиг. 1. Принципиальная схема измерения ЭДС Холла.

(1) на участке до отрицательного сопротивления (ОС) выполняется. На участке же после ОС можно говорить только о преобладании электронного тока. Эти выводы основываются на явлении шнурования тока на участке ОС и части „вертикали“ (участок, следующий за ОС).

Любопытно проанализировать вопрос о степени декомпенсации в области чисто дрейфового тока на вертикальном участке. В основу положены экспериментально наблюдающиеся факты постоянства ЭДС Холла и напряженности электрического поля (последнее основывается на измерении распределения потенциала по базе диода).

Примем следующую модель распределения токов. Существует канал шириной  $b_k(l)$  и граничные области с малой плотностью носителей, распространяющиеся на остальной поперечный размер диода, причем в любой поперечной плоскости продольное поле  $E(x)$  не зависит от величины тока. Справедливость выбранной модели подтверждается нашими измерениями поперечной проводимости базы диода. Взяв для простоты аддитивность холловских ЭДС, найдем:

$$V_x = A \frac{\mu_n H E(x)}{c} \left[ \left( l - b_k + \frac{\mu_n^2 n - \mu_p^2 p}{\mu_n^2 n + \mu_n \mu_p p} b_k \right) \right], \quad (4)$$

где  $V_x$  — измеряемая ЭДС Холла,

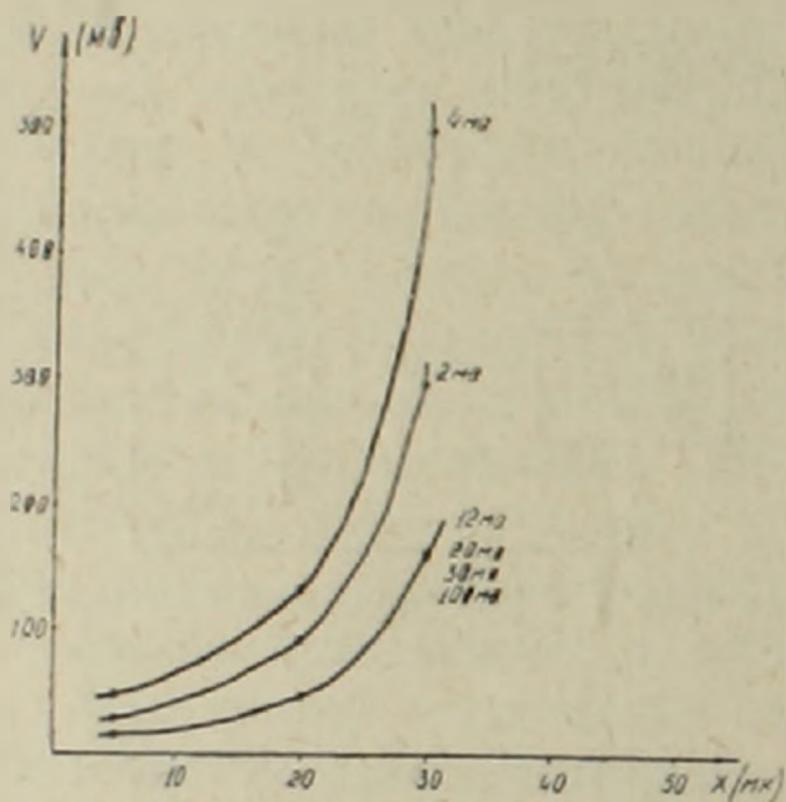
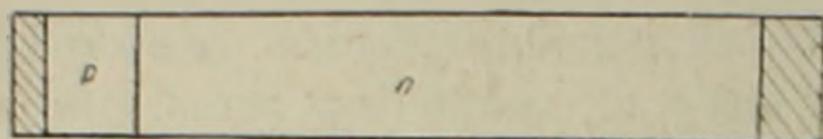
$A$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от механизма рассеяния,

$l$  — поперечный размер диода.

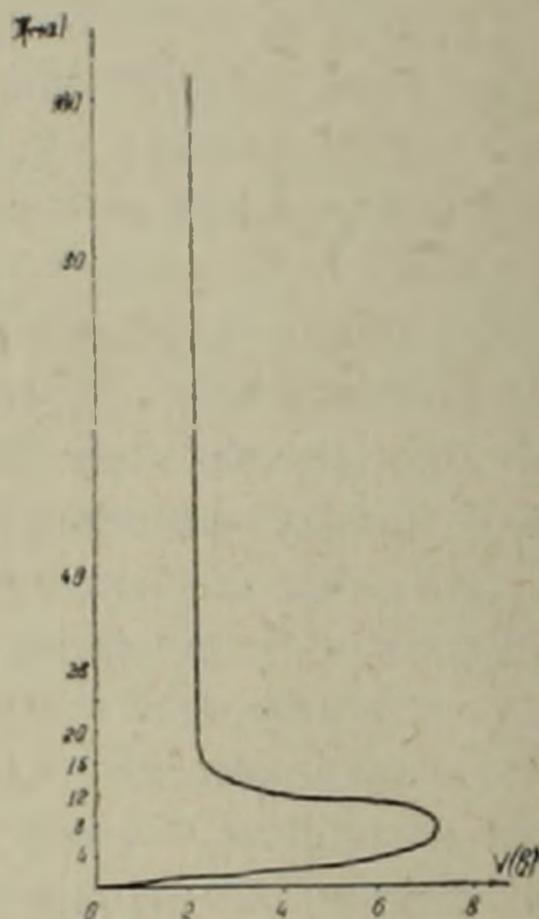
Ясно что величина в квадратной скобке не должна зависеть от тока. С ростом тока  $b_k$  растет (подтверждается измерениями поперечной проводимости). Можно мыслить два крайних случая:

$b_k < l$  — случай, реализующийся вблизи границы участка ОС и „вертикали“ (подтверждается измерениями) и

$b_k \approx l$  в области достаточно больших токов на „вертикали“.



Фиг. 2. Распределение ЭДС Холла по базе диода.



Фиг. 3. Вольт-амперная характеристика диода.

В первом случае мы получаем обычную формулу Холла для монополярной проводимости. Во втором — случай смешанной проводимости. Если бы  $n \approx p$ , то мы имели бы изменения в  $V_x$  при больших токах по крайней мере на 30–40%, что экспериментально не наблюдается. Нами были проведены измерения поперечной проводимости базы на исследуемом диоде до 100 мА, которая при этих токах ( $\sim 100$  мА) в несколько раз превосходила проводимость, наблюдаемую до точки срыва; измеряемая ЭДС Холла в этих пределах тока оставалась постоянной. Значит, постоянство ЭДС Холла может быть обеспечено в дрейфовой области при условии  $n > p$ , в то время как на участке вблизи р-п перехода на „вертикали“ можно ожидать значительную декомпенсацию, на что указывают наши измерения зависимости времени жизни дырок от тока.

Оценивая напряженность поля, необходимую для ударной ионизации отрицательно заряженных ионов золота на уровне 0,54 эв,

исходя из длины свободного пробега  $\sim 10^{-5}$  см, можно получить величину  $E$ , равную  $3 \div 5 \cdot 10^4$  в. см.

Наши расчеты, исходя из (3), по измеренным значениям ЭДС Холла на участке до ОС дают максимальную величину поля  $E$  порядка  $4 \div 6 \cdot 10^4$  в. см. Конечно, надо учесть, что полученные значения представляют собой средние по длине  $\sim 1-2$  мк (толщина зонда). Не исключено, что микродефекты структуры и связанные с ними области объемного заряда могут обеспечить гораздо большие поля (1). Применяемая нами методика, к сожалению, не позволяет обнаружить такие области. Наши данные, справедливы, для диодов с напряжением срыва  $\sim 3 \div 6$  в, были подтверждены значениями напряженности поля, найденными по измерению распределения потенциала вдоль базы диода.

В случае диодов с напряжением срыва  $\sim 10$  и более вольт требуется дальнейшее экспериментальное исследование этого вопроса.

На измеряемую величину ЭДС Холла может накладываться влияние магнитного поля на распределение носителей по сечению базы диода. Наши измерения магниточувствительности в полях  $1000 \div 3000$  эрстед показали, что изменения прямого падения напряжения на диоде в магнитном поле составляли единицы милливольт. Поскольку влияние магнитного поля на вид вольт-амперной характеристики мало, то нам кажется, что этот эффект незначительно искажает основные результаты работы.

**Выводы.** Экспериментально доказано, что в диодах с отрицательным сопротивлением с напряжением срыва  $3-6$  в ударная ионизация глубоких центров не имеет места.

Декомпенсация материала базы на „вертикали“ в большой части диода незначительна, так что выполняется неравенство  $n > p$ .

Эти эксперименты подтверждают физические предположения, выдвинутые в работе (2), об условиях протекания тока на вертикальном участке.

Институт радиофизики и электроники  
Академии наук Армянской ССР

Գ. Մ. ԱՎԱԳՅԱՆՅ, Հայկական ՍՍՀ ԳԱ Բյուրակից-անդամ, Ի. Ռ. ԱՆՏՄԱՆ,  
Լ. Ս. ԽԱՎԻՆ Ե Ա. Վ. ՅՈՒՐԱՎՍԿԻ

### Բացասական դիմադրություն ունեցող կրեմնիումի դիոդների բազայում Հոլլի էլեկտրի շափումը

Չափված է Հոլլի էլեկտրի-ն ոսկիրով կոմպենսացված կրեմնիումի դիոդների բազայի վրա:  
Չափումները կատարվել են երկայնական ուղիղ հոսանքի տարրեր արժեքների համար:

Պարզարանված է բազայի հաղորդականության բավարար չափով միարևեցված լինելը  
նույնիսկ ուղղաձիգ մասում դա համապատասխանում է (2) աշխատանքում վոլտամպերային  
բնութագրի այդ տեղամասի համար առաջարկված մեկնարանմանը:

### ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1 К. В. Бер, „Известия АН СССР“, сер. физ. т. XXIV, 36 (1960). 2 Г. М. Авакьянц, „Радиотехника и электроника“, т. X, II, 1965.