

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИОДОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ОСНОВЕ КОМПЕНСИРОВАННОГО КОБАЛЬТОМ КРЕМНИЯ

И. А. САРКИСЯН

Экспериментально исследованы основные параметры структур p^+-n-n^+ -типа при воздействии освещения, магнитного поля, температуры, а также переходные характеристики S -диодов.

В настоящее время имеется довольно богатая литература, касающаяся теоретических и экспериментальных исследований полупроводников, компенсированных глубокими примесями, и приборов, изготовленных на их основе. Сравнительно малоизученной примесью в кремнии является кобальт. Исследования фотоэлектрических свойств $Si:Co$, из которых были изготовлены диоды, выявили три глубоких уровня: донорный $E_v + 0,28$ эв и два акцепторных — $E_c - 0,56$ эв и $E_c - 0,41$ эв [1].

Целью настоящей работы является экспериментальное изучение некоторых электрофизических свойств p^+-n-n^+ -диодных структур на основе $Si:Co$. Для компенсации были использованы пластины кремния n -типа с удельным сопротивлением 40, 78 и 93 ом см. Компенсированные образцы имели удельное сопротивление порядка 10—40 ком см. Согласно холловским измерениям подвижность электронов при этом составляла 500—800 см²/в сек.

Было изготовлено более 100 диодов. p^+-n-n^+ -диодные структуры формировались сплавлением проволоки из Al с одной стороны компенсированной пластины и сплава $Au+0,1\% Sb$ — с другой. Длина базы диодов определялась толщиной пластины кремния и временем сплавления контактов. Этими факторами объясняются сравнительно большие расхождения в параметрах диодов.

1. Статические ВАХ диодов измерялись в режиме генератора тока в диапазоне температур 200—360°К. На прямой ветви ВАХ наблюдался участок S -образного ОДС, исчезающий при высоких температурах (330—360°К). Напряжение срыва у одной группы диодов, причисляемых к высоковольтным, при комнатной температуре находилось в интервале 10—50 в, у низковольтных — 3—10 в и, наконец, у группы особенно низковольтных диодов — ниже 3 в. Поведение тока подчинялось закономерности $I \sim V^n$ в положительной области до срыва, где $n=3/2$; этому участку предшествовал линейный участок. У высоковольтных диодов при температуре выше 320°К наблюдалось линейное поведение ВАХ до срыва. Ниже 240°К n достигает больших значений. У самых низковольтных диодов в широком интервале температур до срыва наблюдалась линейная закономерность. В области температур выше 250—360°К напряжение срыва чувствительно к изменению температуры. Закон изменения его — $V_{ср} \sim e^{\Delta E/kT}$, где ΔE для разных диодов принимало значения 0,24; 0,35; 0,4 и 0,56 эв. Ниже 160—170°К

$V_{\text{ср.}}$ практически было постоянным. В поведении $V_{\text{ср.}}$ от температуры проявляется та же закономерность, что у сопротивления базы диодов.

В широком диапазоне температур $V_{\text{мин}}^{\text{н}}$ оставалось практически постоянным (его значения колебались в пределах 0,6—3 в). У небольшой группы высоковольтных диодов отмечались высокие значения $V_{\text{мин}}$; с понижением температуры $V_{\text{мин}}$ сильно уменьшалось (например, от 9 в при 320°К до 2 в при 200°К). По-видимому, при высоких температурах после основного срыва где-то при больших токах можно было ожидать появления второго срыва. При комнатной температуре отношение $V_{\text{ср.}}/V_{\text{мин}}$ для разных диодов менялось в пределах 2—15.

По поведению тока срыва $J_{\text{ср.}}$ диоды можно разделить на две большие группы: у одной группы $J_{\text{ср.}}$ постоянен в широком диапазоне температур, у другой группы он меняется с температурой — с понижением температуры $J_{\text{ср.}}$ увеличивается. Было замечено, что это явление имеет место у диодов с достаточно широкой базой—порядка 300 мкм. У небольшой группы диодов с шириной базы порядка 100 мкм $J_{\text{ср.}}$ возрастал с повышением температуры.

После срыва в интервале токов в пределах одного и более порядков напряжение на диоде практически оставалось постоянным, т. е. наблюдалась «вертикаль».

При освещении лампочкой микроскопа со стороны p - n -перехода $V_{\text{ср.}}$ уменьшалось, $J_{\text{ср.}}$ оставался постоянным, $V_{\text{мин}}$ тоже не менялось. Эти наблюдения велись при комнатной температуре и с нагревом. Аналогичные исследования на диодах на основе $Si:Ag$ [2], $Si:S$ [3] и $Si:Zn$ [4] показали рост прямого тока.

2. Во всей исследуемой области температур на прямой ветви VAX диодов до срыва колебания, подобные шумовым колебаниям в диодах $Si:Cd$ [5], не наблюдались. В области OC присоединением параллельной емкости можно было наблюдать генерацию релаксационных колебаний. Частота этих колебаний составляла несколько $кГц$, амплитуда — несколько $мв$. Частота и амплитуда определяются током смещения: с ростом тока смещения частота увеличивается, а амплитуда уменьшается. Форма колебаний обусловлена зарядом и разрядом конденсатора, однако разряд цепи происходит намного быстрее из-за малого сопротивления диода, который во время разряда находится на вертикальном участке. Параллельная емкость меняет вид участка OC : с увеличением емкости появляется второй срыв [7]; VAX после срыва перемещается вверх в сторону увеличения тока (рис. 1). Влияние емкостей порядка нескольких $мкф$ ничтожно мало. С увеличением емкости частота колебаний уменьшается, а амплитуда растет (рис. 2). Частота колебаний растет с повышением температуры в интервале 275—335°К; в интервале 213—275°К частота практически постоянна.

При освещении прибора лампочкой микроскопа со стороны p - n -перехода можно было наблюдать уменьшение амплитуды колебаний. Так, если в темноте амплитуда колебаний составляла 0,09 в, с освещением она становилась равной 0,05 в. Частота при этом возрастала от 3,6 $кГц$ в темноте до

24,2 кГц при освещении. Освещение базовой области не влияло ни на форму, ни на параметры колебаний.

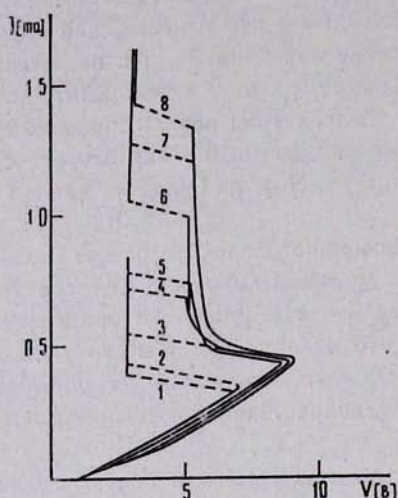


Рис. 1.

Рис. 1. Семейство типичных ВАХ диода, снятых при разных шунтирующих емкостях: 1—0; 2—1; 3—5; 4—9; 5—11; 6—20; 7—30 и 8—40 нФ.

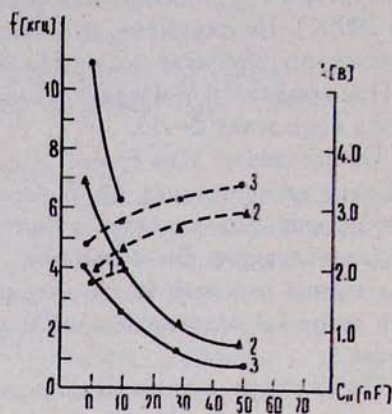


Рис. 2.

Рис. 2. Зависимость частоты и амплитуды (пунктирные кривые) колебаний на участке ОДС от разных шунтирующих емкостей при разных токах смещения: 1—0,8; 2—0,6 и 3—0,4 ма.

3. С целью обнаружения и исследования движения шнура тока в поперечном магнитном поле была использована методика [6]. Большая часть наших диодов была не чувствительна к действию магнитного поля. У небольшой группы диодов ВАХ претерпевала некоторые изменения под влиянием поперечного магнитного поля: $J_{\text{ср.}}$ во всех случаях оставался постоянным, $J_{\text{ост.}}$ с увеличением напряженности от 0 до 8 кэ уменьшался, $V_{\text{ср.}}$ с увеличением H либо росло, либо падало, V_{min} было постоянным в интервале от 0 до 2 кэ, далее с увеличением магнитного поля до 8 кэ линейно возрастало ($5 \cdot 10^{-4}$ в/э). Оказалось, что магниточувствительные диоды имеют отличные от других диодов статические ВАХ: в отсутствии магнитного поля при нагревании V_{min} увеличивается, при освещении — уменьшается.

4. С помощью двух сдвинутых прямоугольных импульсов положительной полярности с регулируемой задержкой исследовалось быстрое действие диодов. Переходные характеристики были сняты по известной методике [8] в режиме генератора напряжения. Импульсы напряжения и тока наблюдались на двухлучевом осциллографе С1-18. В качестве генератора импульсов использовался генератор Г5-7А. Время задержки (время запаздывания включения) диода τ_z и время переключения диода из непроводящего состояния в проводящее $\tau_{\text{пер.}}$ зависели от амплитуды подаваемого импульса и с ростом перенапряжения они монотонно уменьшались. У отдельных диодов τ_z менялось от 10 мксек до 1,8 мксек, $\tau_{\text{пер.}}$ — от 50 до 0,4 мксек. Харак-

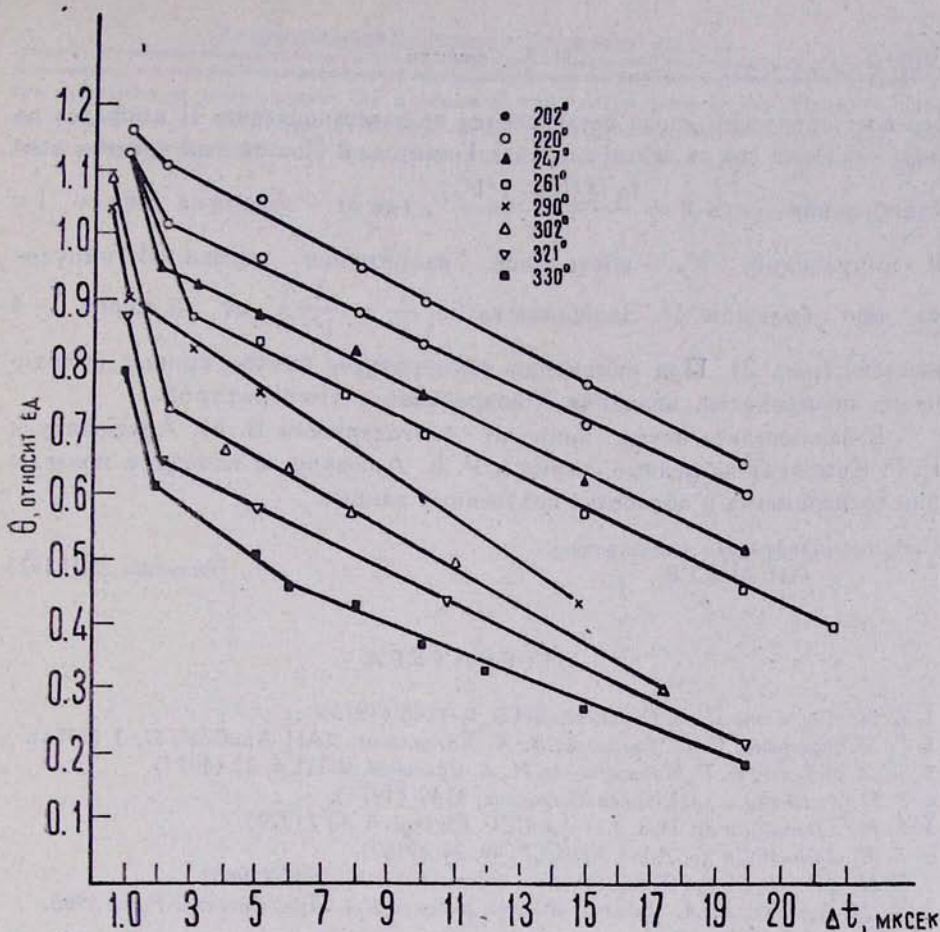


Рис. 3. Зависимость постоянных времени восстановления диода от температуры при различных значениях регулирующей задержки между сдвинутыми импульсами.

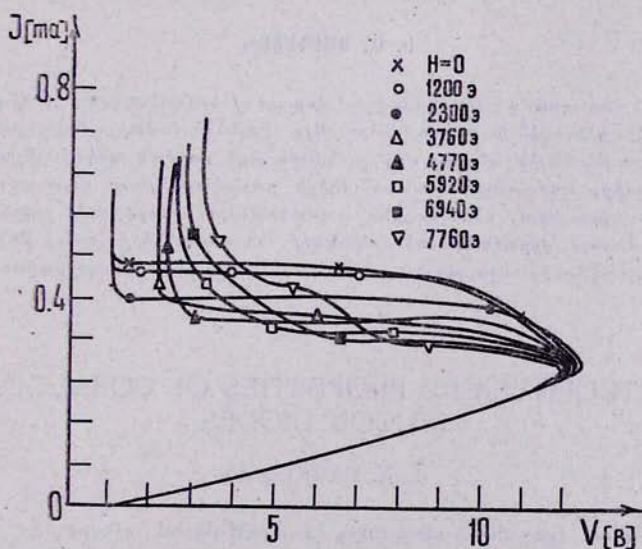


Рис. 4. Зависимость ВАХ типичного диода от величины напряженности магнитного поля.

тер восстановления диода исследовался по восстановлению II импульса по мере удаления его от заднего фронта I импульса. Постоянная времени восстановления есть $\vartheta = \frac{\ln(1/V - 1/V_\infty)}{|\Delta t|}$, где Δt — задержка между I и

II импульсами, V_∞ — постоянное напряжение срыва II импульса при большом Δt . Зависимость $\ln\left(\frac{1}{V} - \frac{1}{V_\infty}\right)$ от Δt имеет 3—4 наклона (рис. 3). При изменении температуры наклон кривых практически не меняется, значение ϑ возрастает с температурой.

В заключение автор приносит благодарность В. М. Арутюняну и Р. Г. Симоняну за ценные советы и Р. Е. Аршакян за помощь в проведении эксперимента и обработке полученных данных.

Институт радиофизики и электроники
АН АрмССР

Поступила 5.III.1975

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Арутюнян, И. А. Саркисян. ФТП, 9, 1248 (1975).
2. Г. М. Авакьянц, С. Г. Долмазян, Э. А. Хазарджян. ДАН АрмССР, 57, 1 (1973).
3. А. А. Лебедев, А. Т. Мамадалимов, Н. А. Султанов. ФТП, 5, 22 (1971).
4. Г. М. Авакьянц и др. Микроэлектроника, 3, 49 (1974).
5. Г. М. Авакьянц и др. Изв. АН АрмССР. Физика, 5, 41 (1970).
6. Г. М. Авакьянц и др. ДАН АрмССР, 49, 24 (1969).
7. Г. М. Авакьянц и др. Радиотехника и электроника, 10, 2037 (1965).
8. Л. М. Булгаева, А. А. Лебедев. Физика p-n-перехода, Изд. Зинатне, Рига, 1966.

ԿՈՐԱԼՏՈՎ ԿՈՄՊԵՆՍԱՑՎԱԾ ՍԻԼԻՑԻՈՒՄԻՑ ՊԱՏՐԱՍՏՎԱԾ ԴԻՈԴՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐՈՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ի. Ա. ՍԱՐԿՍՅԱՆ

Փորձական հետազոտման են ենթարկված կոբալտով կոմպենսացված p-n-տիպի սիլիցիումից պատրաստված S- դիոդային կառուցվածքները: Այս դիոդների համար հատկանշական են խզման հոսանքի չերմաստիճանային անոմալ վարքը, նվազագույն լարման անկախությունը չերմաստիճանի փոփոխումից, աղմուկային տատանումների բացակայությունը վոլտ-ամպերային բնութագրի դրական տիրույթում, ուլտրաազդի տատանումների առաջացումը բացասական դիմադրության տեղամասում, վերականգնման ժամանակի հաստատունների կորերի բեքուժյան կալուսությունը չերմաստիճանից: Այս դիոդների մեծ մասը անզգայուն է մագնիսական դաշտի նկատմամբ:

ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF COBALT-DOPED SILICON DIODES

I. A. SARKISYAN

The p^+-n-n^+ type diode structures in cobalt-doped n-type Si were studied experimentally. The distinctive features of these diodes are: the anomalous temperature dependence of threshold current J_{cp} ; the constancy of minimum voltage V_{min} at

the variations of temperature; the absence of noise oscillations in the forward bias; the generation of relaxation oscillations in the negative resistance region and the temperature independence of the recovery constant time lines.