

УДК 539.293 : 537.533.7

ФИЗИКА

С. А. Тарумян

Статические и импульсные характеристики S-диодов
при воздействии электронов низких энергий

Представлено чл.-корр. АН Арм. ССР Г. М. Авакьянцем 18/XII 1975)

В работах ^(1,2) было показано, что диоды из кремния, компенсированного цинком достаточно чувствительны к воздействию электронного пучка. Известно также, что эти же диоды обладают и высокой фоточувствительностью ⁽³⁾. С этой точки зрения представляют интерес исследования и тех приборов под действием электронного пучка, которые слабо чувствительны к воздействию света. В качестве последних были взяты диоды из кремния, компенсированного никелем и золотом с базами *n* и *p* типа соответственно. Технология компенсации материала и изготовление диодов подробно описаны в работах ^(4,5). Исходное сопротивление материала было порядка $40 \div 80 \text{ ом см}$, а после компенсации — $8 \div 10 \text{ ком см}$. Измерения проводились при комнатной температуре на сошлифованных образцах. При исследовании выяснилось, что ВАХ этих диодов меняются слабо даже при токе пучка порядка 10^3 и выше, причем напряжение срыва у образцов с примесью золота уменьшается ничтожно мало. Коэффициент усиления при низких значениях тока пучка у обоих типов диодов порядка $2 \div 4 \cdot 10^3$. Чувствительность диодов с примесью никеля и золота к воздействию электронного пучка на четыре порядка меньше по сравнению с диодами с примесью цинка ⁽²⁾; в то время как фоточувствительность отличается только на два порядка ⁽⁶⁾. С увеличением напряжения на диодах и тока пучка коэффициент усиления у обоих типов приборов увеличивается, причем у образцов с примесью золота это увеличение носит суперлинейный характер. Заметим также, что при исследовании в базах образцов не были обнаружены области с относительно высокой чувствительностью, как в случаях диодов с примесью цинка ⁽²⁾.

Для объяснения существования чувствительной области в приборах с примесью цинка будем предполагать, что у тылового контакта существует более низкоомная область по сравнению с остальной частью базы.

Известно, что на поверхности полупроводника всегда имеются поверхностные локальные уровни, концентрация которых может быть

достаточно велика в зависимости от состояния поверхности. Если база диода высокоомная, то некоторая часть этих уровней будет заполнена электронами, а часть уровней останется свободной. При облучении электронным пучком электроны из валентной зоны будут выбрасываться на эти свободные уровни, что приведет к резкому увеличению захвата дырок на те же уровни и, следовательно,—к уменьшению их времени жизни. Таким образом, наличие большой концентрации поверхностных уровней приводит к резкому уменьшению количества созданных электронным пучком и дошедших до токопроводящего канала дырок. Поэтому и чувствительность диода к электронному потоку будет невелика. Отметим также, что чувствительность будет более слабой у диодов, база которых сильно компенсирована еще и потому, что в этом случае поверхностные состояния заполняются электронами из глубоких слоев базы, образуя тем самым достаточно широкий слой объемного заряда, препятствующий диффузии дырок от поверхности вглубь полупроводника. Иная картина наблюдается в диодах с низкоомной базой. В этом случае подавляющее число поверхностных уровней заняты электронами, слой возможного объемного заряда тонок и при возбуждении полупроводника электронным пучком образовавшиеся пары электрон-дырка свободно диффундируют вглубь вещества и модулируют сопротивление базы диода. Если предположить, что в диодах из кремния, компенсированного цинком, у тыловой части база более низкоомная, чем у $p-n$ -перехода, то естественно, что в этой области диод будет достаточно сильно чувствительным к воздействию электронного пучка. Это и наблюдается на опыте.

Следует заметить, что заполненные или свободные поверхностные уровни не будут заметно влиять на светочувствительность диода, так как глубина проникновения света с энергией порядка ширины запрещенной зоны кремния составляет многие десятки микрон и подавляющее число электронно-дырочных пар образуется не на поверхности, а в глубоких слоях базы.

Для установления возможных пределов применимости диодов из кремния, компенсированного цинком, в импульсных устройствах, с электронным облучением, весьма важно знать временные характеристики и значение коэффициента усиления в импульсном режиме. Для полного понимания явлений, происходящих в базе диода при облучении, нами были исследованы импульсные свойства также при отсутствии электронного возбуждения. При этом, кроме ранее обнаруженных закономерностей (⁷), были выявлены и некоторые новые свойства. В частности, при исследовании одиночными импульсами, длительностью более 2,2 нс, показано, что у большинства образцов основному срыву, время задержки которого порядка 50 – 60 нс, предшествует срыв с задержкой около 2 нс, причем минимальное напряжение одно и то же для обоих срывов.

В работе (⁷) показано, что у вышеупомянутых диодов в импульсном режиме после роста тока происходит его дальнейшее монотонное уменьшение, сменяющееся характерным всплеском. У имеющихся в нашем

распоряжении диодов эти осциллограммы имели более простой вид (рис. 1, а). С увеличением напряжения на диоде максимум тока передвигается по оси времени сначала влево, а затем вправо, одновременно увеличиваясь по амплитуде. Характерно, что у диодов с двойными срывами первый срыв наступает с того места, где расположен пик тока. При исследовании сдвоенными импульсами с регулируемой задержкой между ними выяснилось, что время задержки срыва первым импульсом уменьшается. Импульсные свойства диодов исследовались также и под действием непрерывного электронного облучения. Описанный выше срыв с большой задержкой исчезает под действием непрерывного облучения и с увеличением тока луча больше не появляется. Мак-

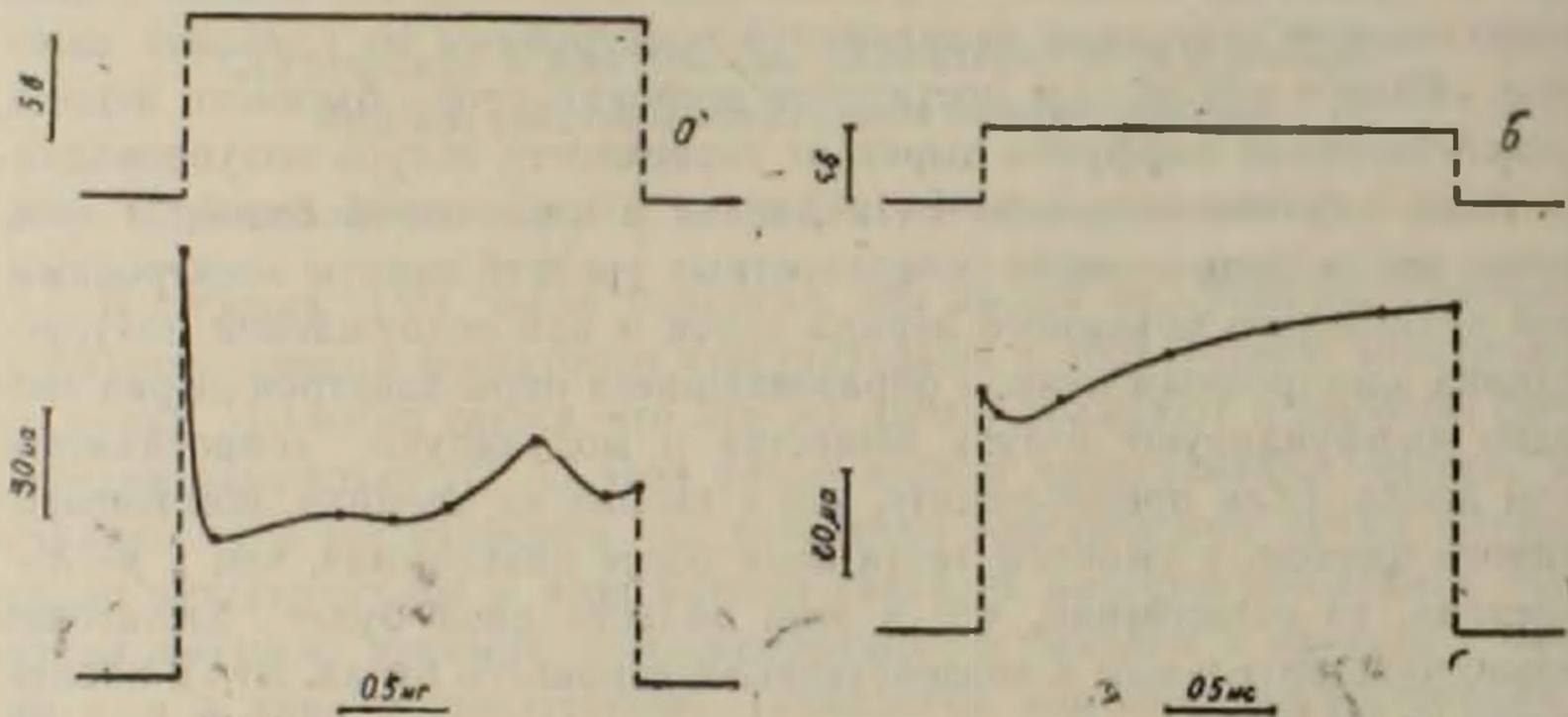


Рис. 1 Форма импульса тока: а—при отсутствии электронного возбуждения; б—под действием импульсного облучения

симумы на импульсе тока исчезают, а форма импульса приближается к прямоугольной. С увеличением интенсивности пучка время задержки основного срыва увеличивается. Эта зависимость носит линейный характер и при энергии электронов 10 кэВ и токе $2 \cdot 10^{-8}$ достигает значения 600 мкс. Зависимость времени задержки от напряжения на диоде сохраняет ту форму, которая наблюдается без облучения (рис. 2). Из рисунка видно, что с увеличением энергии величина задержки сильно меняется при меньших $\frac{V}{V_{ср}}$. С увеличением этого отношения время задержки стремится к стационарному значению, которое наблюдается без электронного облучения. Отметим также, что с возрастанием интенсивности облучения время восстановления высокоомного состояния уменьшается.

С целью выявления пределов применимости данных диодов в качестве приемника модулированного электронного пучка в усилителях типа ПЭБП (в) весьма важно исследование импульсных свойств под действием импульсного облучения. Для прерывания электронного потока была изготовлена специальная приставка, представляющая собою прямо-

угольную трубку из фольгированного гетинакса с внутренними размерами $2 \times 8 \times 100$ мм. Подачей постоянного напряжения на обкладки этой трубки электронный луч смещается в сторону. При подаче напряжения такой же величины, но уже обратной полярности луч снова возвращался

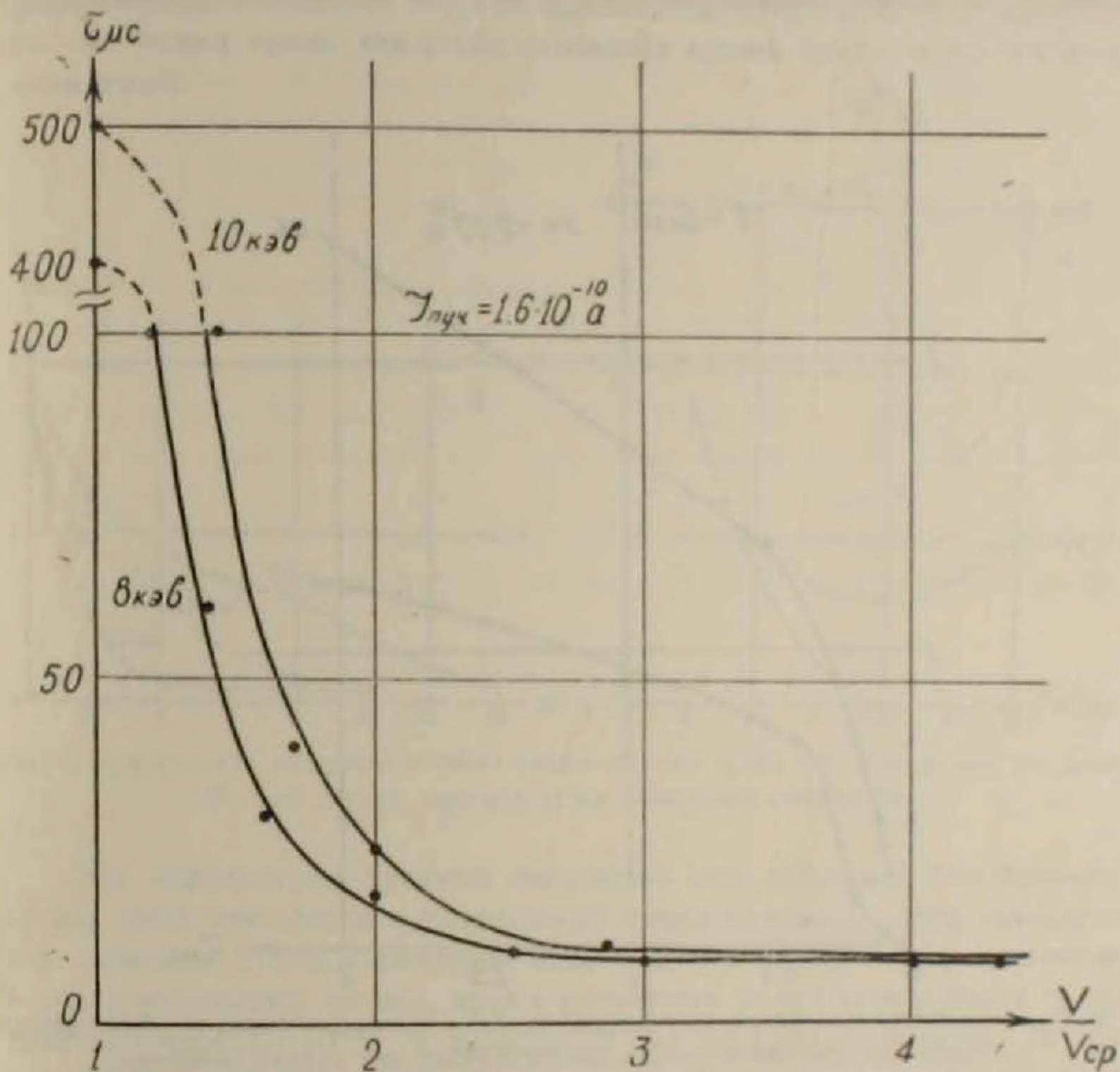


Рис. 2. Зависимость времени задержки основного срыва от смещения на аноде при двух значениях энергии пучка

ся в исходное положение. Во время исследования диодов импульсное напряжение с одного канала генератора Г5—7А подавалось на отклоняющие пластинки вышеописанной трубки, а с другого канала с нулевой задержкой по отношению к первому импульсу подавалось на диод. Предварительно постоянным напряжением луч отклонялся от анода. Для энергий электронов порядка 10 кэВ пучок практически можно считать безинерционным, так как расстояние 100 мм они преодолевают за сотые доли микросекунды, что на несколько порядков меньше, чем минимальная длительность импульсов, использованная при измерениях. При исследовании диодов под действием импульсного облучения были получены некоторые новые закономерности. Измерения показали, что в этом случае время задержки первого срыва уменьшается, в то время как при непрерывном облучении увеличивается. Импульс тока

имеет вид, показанный на рис. 1,б. Следует заметить, что величина всплеска тока в начальном участке импульса зависит только от величины напряжения на диоде и совершенно не меняется при изменении интенсивности пучка. Естественно, что коэффициент усиления сильно зависит от длительности импульса и при его значении, равном 2 мс,

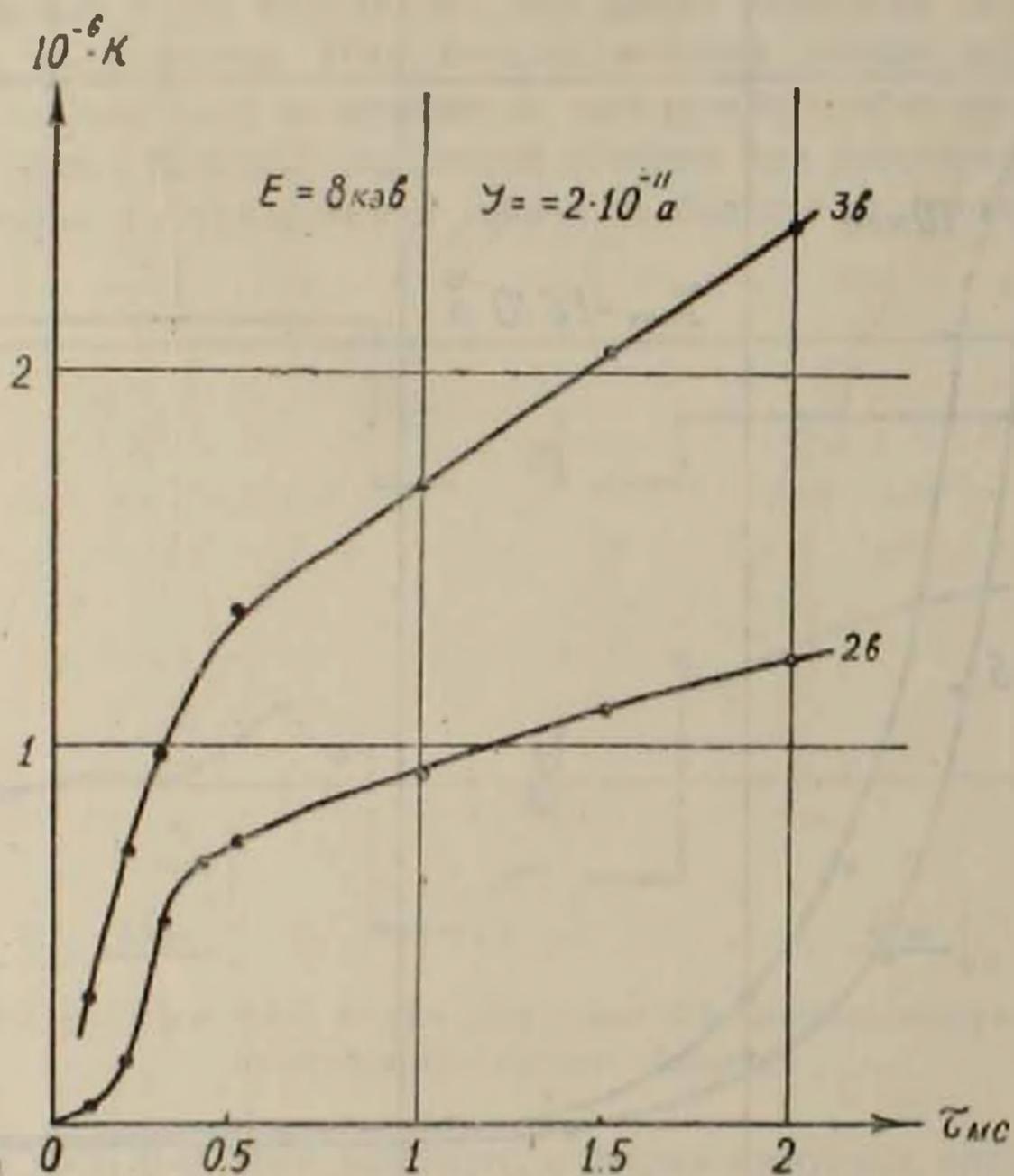


Рис. 3. Зависимость коэффициента усиления диодов с примесью цинка от длительности импульса под действием импульсного облучения при разных смещениях

приближается к значению, соответствующему стационарному режиму при непрерывном облучении (рис. 3). С увеличением напряжения на диоде коэффициент усиления заметно увеличивается. Отметим также, что с уменьшением длительности импульса коэффициент усиления резко падает и стремится к нулю, так как величина всплеска в начальном участке импульса тока не зависит от интенсивности пучка.

Как уже отмечалось выше, срыв с большой задержкой появляется и тогда, когда облучение импульсное. Некоторый интерес представляет и зависимость времени задержки этого срыва от энергии и тока пучка (рис. 4,а). Излом на кривых, по-видимому, следует объяснить существованием некоторого второго срыва с большой задержкой, которое проявляется при определенных значениях тока и энергии пучка.

Несколько иную форму имеет зависимость задержки срыва с большой задержкой от величины напряжения на диоде (рис. 4,б). При малых значениях энергии с увеличением напряжения величина задерж-

S-տիպի դիոդների ստատիկ և իմպուլսային բնութագծերը ցածր էներգիաներով էլեկտրոնների ազդեցության տակ

Հետազոտված են նիկելով և ոսկով կոմպենսացված սիլիցիումային S-տիպի դիոդների վոլտ-ամպերային բնութագծերի փոփոխությունները ցածր էներգիաներով օժտված էլեկտրոնների ազդեցության տակ: Այդ տիպի դիոդներում ուժեղացման գործակիցը մոտավորապես շորս կարգով փոքր է դիկով կոմպենսացված դիոդների ուժեղացման գործակիցից և կազմում է $3 \div 5 \cdot 10^3$: Ցինկով կոմպենսացված սիլիցիումային դիոդների իմպուլսային բնութագծերի հետազոտման ժամանակ պարզվել է, որ հիմնական խզմանը նախորդում է երկու միլիվարկյան և ավելի միացումի հապաղման ժամանակ ունեցող մի խզում, որը էլեկտրոնների անընդհատ հոսքով ուժեղացված ժամանակ անհետանում է: Իմպուլսային ուժեղացման դիպքում նշված հապաղման ժամանակը սկզբում փոքրանում է, իսկ այնուհետև էլեկտրոնների ինտենսիվության մեծացմանը զուգընթաց աճում է, և ի վերջո՝ այդ խզումն անհետանում է: Աշխատանքում բերված է նաև ցինկով կոմպենսացված դիոդների ուժեղացման գործակիցի կախվածությունն ազդանշանի տևողությունից իմպուլսային ուժեղացման պայմաններում:

ЛИТЕРАТУРА — ՔՐԱԿԱՆՈՒՄՅԱՆ

- ¹ Г. М. Авакьянц, З. Н. Адамян, С. А. Тарумян, ДАН Арм. ССР, т. IX, № 2 (1974).
² Г. М. Авакьянц, С. А. Тарумян, ДАН Арм. ССР, т. X, № 5 (1975). ³ Г. М. Авакьянц, З. Н. Адамян, В. М. Арутюнян, Р. С. Бирсегян, А. В. Емельянов, С. В. Оганесян, Микроэлектроника, 3, 49 (1974). ⁴ Г. М. Авакьянц, С. В. Минисян, О. А. Оганесян, ДАН Арм. ССР, т. 51, стр. 20 (1970). ⁵ И. Р. Альтман, Кандидатская диссертация, Ереван, 1967. ⁶ А. J. Maher, В. G. Streetman, N. Holonyak, Trans. IEEE ED—16, 963(1969).
⁷ З. Н. Адамян, Кандидатская диссертация, Ереван, 1975. ⁸ Г. М. Авакьянц, З. Н. Адамян, В. М. Арутюнян, «Известия АН Арм. ССР», Физика, т. X, вып. I (1975). ⁹ А. Силцарс, Д. Дж. Бейтс, А. Баллонофф, ТИИЭР, т. 62, № 8, стр. 93—139, (1974).