

УДК 621.382.8

ФИЗИКА

Член-корреспондент АН Армянской ССР Г. М. Авакьянц, С. В. Минасян

Исследование статических и переходных вольт-амперных характеристик диодов, изготовленных на основе кремния, компенсированного никелем

(Представлено 15/XI 1971)

При изготовлении S-диодов из кремния, компенсированного никелем, в качестве контактов использовались алюминий и никель, легированный фосфором.

Проведены исследования статических вольт-амперных характеристик в интервале $-40^{\circ} + 100^{\circ}\text{C}$. С ростом температуры напряжение срыва убывает. Наблюдалось постоянство остаточного напряжения и токов срыва и остаточного во всем указанном диапазоне температур. Характерным для таких диодов являются малые значения токов и очень низкие остаточные напряжения—меньше одного вольта.

Диоды также характеризуются большим отношением напряжения срыва к напряжению отсечки (8–30).

Методом одвоенных импульсов исследовались особенности переходных характеристик диодов в зависимости от времени задержки и скважности.

В работе (1) сообщалось об изготовлении диодов из кремния, легированного никелем, с S-образной ВАХ, в которых в качестве контактов служили Al и Au (0,1% Sb).

В данной статье сообщается об изготовлении диодов также из кремния, легированного никелем, но здесь в качестве контактов использовались: 1. Столбик Al диаметром 500 мкм. Для тылового контакта омически осаждался Ni, легированный фосфором. 2. Напыленный Al в виде кружков диаметром 300 мкм. Для тылового контакта Au (+0,1% Sb). 3. Напыленный Al в виде кружков диаметром 300 мкм, и химически осажденный Ni, легированный фосфором.

Вплавление контактов производилось в вакууме 10^{-4} мм Hg и при температуре 700°C . Диоды, изготовленные с вышеуказанными контактами, имели участок отрицательного сопротивления (ОС) на прямой ветви ВАХ.

Проводились исследования диодов с контактами из алюминиевого столбика, с одной стороны, и с химическим осажденным никелем с примесью фосфора с другой.

Для таких диодов характерны большие отношения напряжения срыва к остаточному напряжению ($\frac{V_{max}}{V_{min}} = 8 - 30$) и остаточное напряжение меньше одного вольта.

Температурные измерения ВАХ таких приборов показали, что напряжение срыва с ростом температуры падает, но при 100°C ОС еще не исчезает. Остаточное напряжение с ростом температуры почти не меняется. Ток срыва ($J_{ср}$) и остаточный ($J_{от.}$) также, как и V_{min} , постоянны с изменением температуры (1).

Таким образом, три основных параметра из четырех (V_{min} , $J_{ср}$, $J_{от.}$) стабильны к изменениям температуры от -40°C до $+100^\circ\text{C}$. Чем больше напряжение срыва при комнатной температуре, тем сильнее зависимость его температуры. При напряжении срыва 5–10 в. V_{max} почти не зависит от температуры в интервале от -40°C до $+50^\circ\text{C}$. Исследовалось поведение V_{max} и V_{min} от изменения ширины базы (d). Если закон изменения $V(d)$ представить в виде степенной функции ($V = ad^n + b$), то значение n для напряжения срыва лежит в пределах $1 < n < 2$, в то время как для остаточных напряжений n меняется в пределах от 0,6 до 0,90.

Проводилось также измерение обратной ветви ВАХ при разных температурах. Характерным является то, что участок быстрого роста тока с напряжением наступает гораздо раньше, чем у диодов с $V_{min} > 1$ в. С ростом температуры обратные токи заметно увеличиваются.

Для проверки влияния термоакцепторов и неконтролируемых примесей на свойства приборов, проведены контрольные опыты. Пластины из того же кремния были подвергнуты такой же термической обработке, но при отсутствии никеля. Удельное сопротивление Si заметно не изменилось, а приборы, изготовленные из контрольных исходных пластин, имеют обычные вольт-амперные характеристики.

Изучение переходных характеристик представляет интерес как с точки зрения исследования физических процессов, протекающие в диодах, так и их практического применения.

Измерения импульсных характеристик проводились в режиме генератора напряжения при помощи одиночных и двойных прямоугольных импульсов с регулируемой задержкой.

В процессе измерений использовались генератор Г57А и осциллограф С1—13А. Последовательно с образцом включалось омическое сопротивление, порядка 360—1500 ом.

Поскольку процессы, ответственные за формирование ОС, являются инерционными, то переход диода в состояние с высокой проводимостью при подаче импульса достаточно большой амплитуды происходит не мгновенно, а с некоторой задержкой $t_{вк}$ называемой временем включения. За это время задержки $t_{вк}$ в диодной структуре успевают закон-

читься процессы включения. Происходит переключение S-диода в область с малыми напряжениями и большими токами. При этом амплитуда импульса напряжения ($V_{\text{внп}}$), при котором происходит срыв, значительно меньше напряжения срыва, измеренного на постоянном токе ($V_{\text{срв}}$).

При измерениях на одиночных импульсах входной сигнал на осциллограф снимался непосредственно с последовательного сопротивления. Длительность импульса выбиралась достаточно большой для того, чтобы все нестационарные процессы успели закончиться.

Если напряжение подаваемого импульса $V_{\text{внп}} \gg V_{\text{срв}}$, то началу импульса соответствует выброс тока. Время нарастания тока определялось длительностью фронта импульса напряжения, которая составляла примерно 100 нсек. А затем наблюдается спад тока в течение примерно 10 мсек. Постепенное увеличение $V_{\text{внп}}$ приводит к медленному росту тока, а при напряжении $V_{\text{внп}} \approx V_{\text{срв}}$ после некоторой задержки происходит резкий скачок тока—срыв. Время этого быстрого нарастания тока—срыва по оценке $\approx 10^{-9}$ сек и вероятно характеризует кумуляцию тока через прибор в шнур.

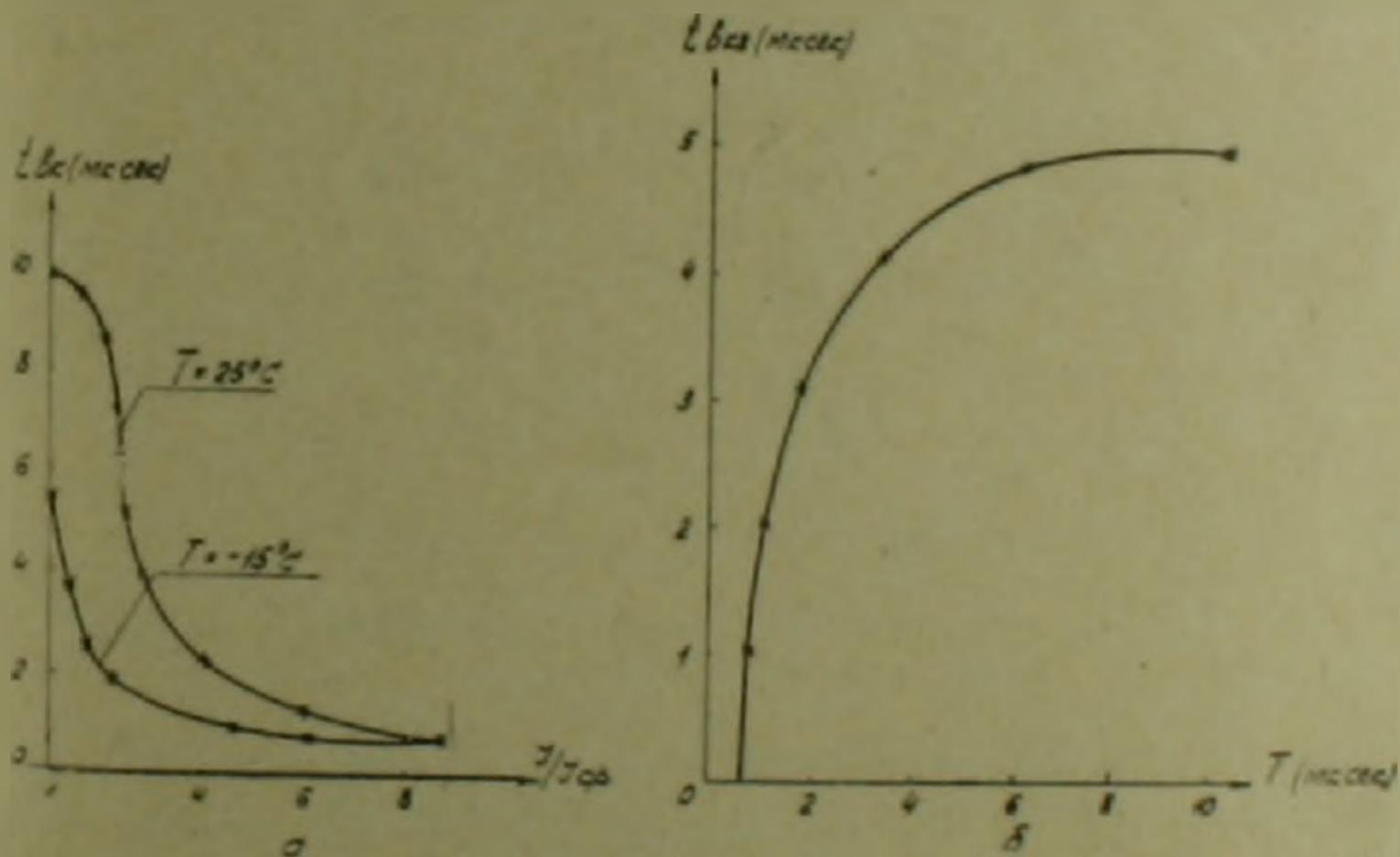


Рис. 1. а—зависимость времени включения от величины амплитуды подаваемого импульса. б—зависимость времени включения $t_{\text{вкл}}$ от интервала между импульсами

Время задержки зависит от амплитуды подаваемого импульса и уменьшается с ростом $V_{\text{внп}}$. При дальнейшем повышении $V_{\text{внп}}$ при сохранении условия $V_{\text{внп}} \gg V_{\text{срв}}$, $t_{\text{вкл}}$ становится постоянным и имеет порядок 0,2–1 мсек (рис. 1, а).

Как показали измерения, время задержки при комнатной температуре $t_{\text{вкл}}$ составляет < 15 мсек ($V_{\text{внп}} \approx V_{\text{срв}}$). При понижении температуры время задержки уменьшается (рис. 1, а). Под действием света $t_{\text{вкл}}$ также уменьшается. Это, по-видимому, связано с уменьшением сопротивления прибора.

При измерении на сдвинутых импульсах, входной сигнал на осциллограф снимался непосредственно с исследуемого образца.

Время восстановления определялось с помощью двойных импульсов по зависимости времени задержки второго импульса от интервала между импульсами. Это время у S-диодов из кремния с примесью никеля доходит до 10 мксек (рис. 1, б), а у отдельных диодов составляет 2 мксек.

Исследования процессов восстановления диода после срыва проводились с помощью двойных импульсов с регулируемой задержкой. Полученные осциллограммы схематически изображены на рис. 2. Сначала подавался первый импульс напряжения такой амплитуды, чтобы диод только переключался бы из состояния с низкой проводимостью в состояние с высокой проводимостью. Затем, через некоторое достаточно

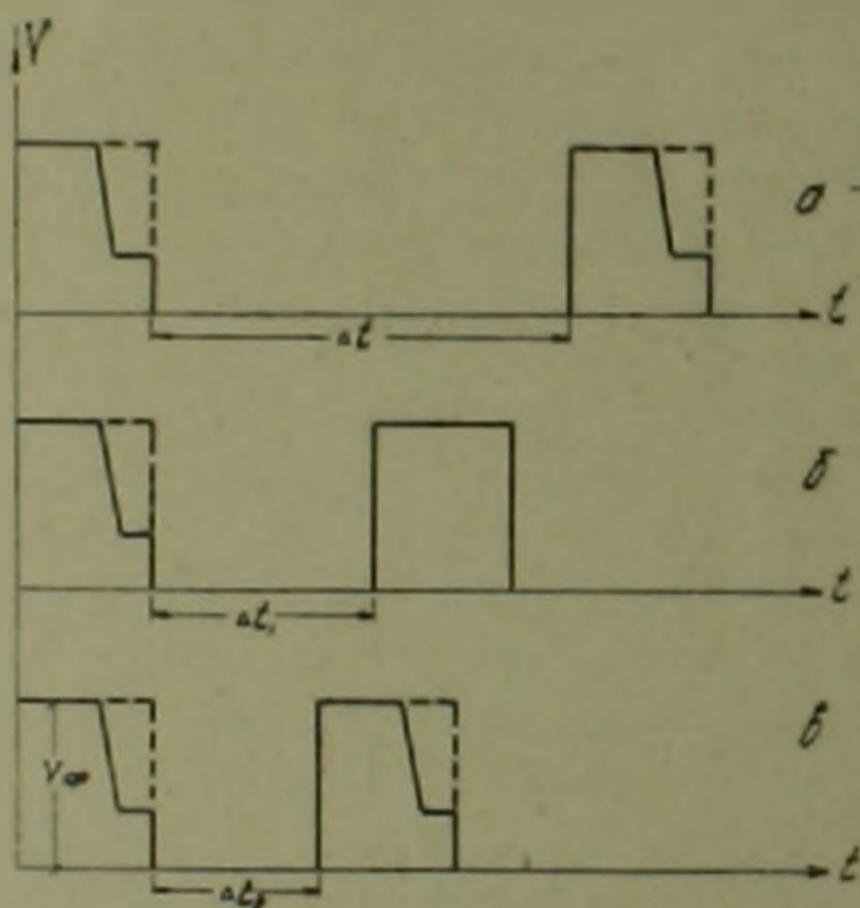


Рис 2 а, б, в—схематическое изображение осциллограмм с помощью двойных импульсов напряжения

большое время Δt , подавался второй импульс точно такой же амплитуды, как и первый (рис. 2, а). При уменьшении расстояния Δt наступает такой момент, когда первый импульс „действует“ на второй—увеличивается время задержки второго срыва. Это продолжается до какого-то интервала времени $\Delta t_1 < \Delta t$, при котором диод переключается в состояние с низкой проводимостью (рис. 2, б). Такое влияние первого импульса на второй сохраняется до какой-то точки $\Delta t_2 < \Delta t_1 < \Delta t$, где вновь наблюдается переключение из состояния с низкой проводимостью в состояние с высокой проводимостью (рис. 2, в).

При $\Delta t < \Delta t_2$ резко уменьшается время задержки ($t_{дз}$) и амплитуда второго импульса.

Время Δt_1 —порядка 20–30 микросекунд, а Δt_2 —порядка нескольких микросекунд. Аналогичные исследования были проведены для

диодов из германия (¹), с примесью золота, и кремния с примесью цинка (²).

Исследование диода сдвоенными импульсами дало и другой результат. Наблюдалось увеличение времени включения диода вторым импульсом или восстановление прямоугольной формы второго сигнала в зависимости от амплитуды первого.

На рис. (3 а, б) изображены зависимости $t_{\text{вкл}}$ от амплитуды первого импульса при разных значениях амплитуды второго. Известно, что с увеличением амплитуды сигнала время задержки уменьшается. Длительность второго сигнала была 5 мксек. Таким образом, были установлены исходные времена включения диода вторым импульсом (при отсутствии первого) и затем исследовались зависимости $t_{\text{вкл}}$ от амплитуды первого (рис. 3 а, б). Чем меньше времена задержки, тем требуется большая амплитуда первого импульса, чтобы проявилось влияние его на второй. После достижения прямоугольной формы второго импульса дальнейшее увеличение амплитуды первого не влияет на второй

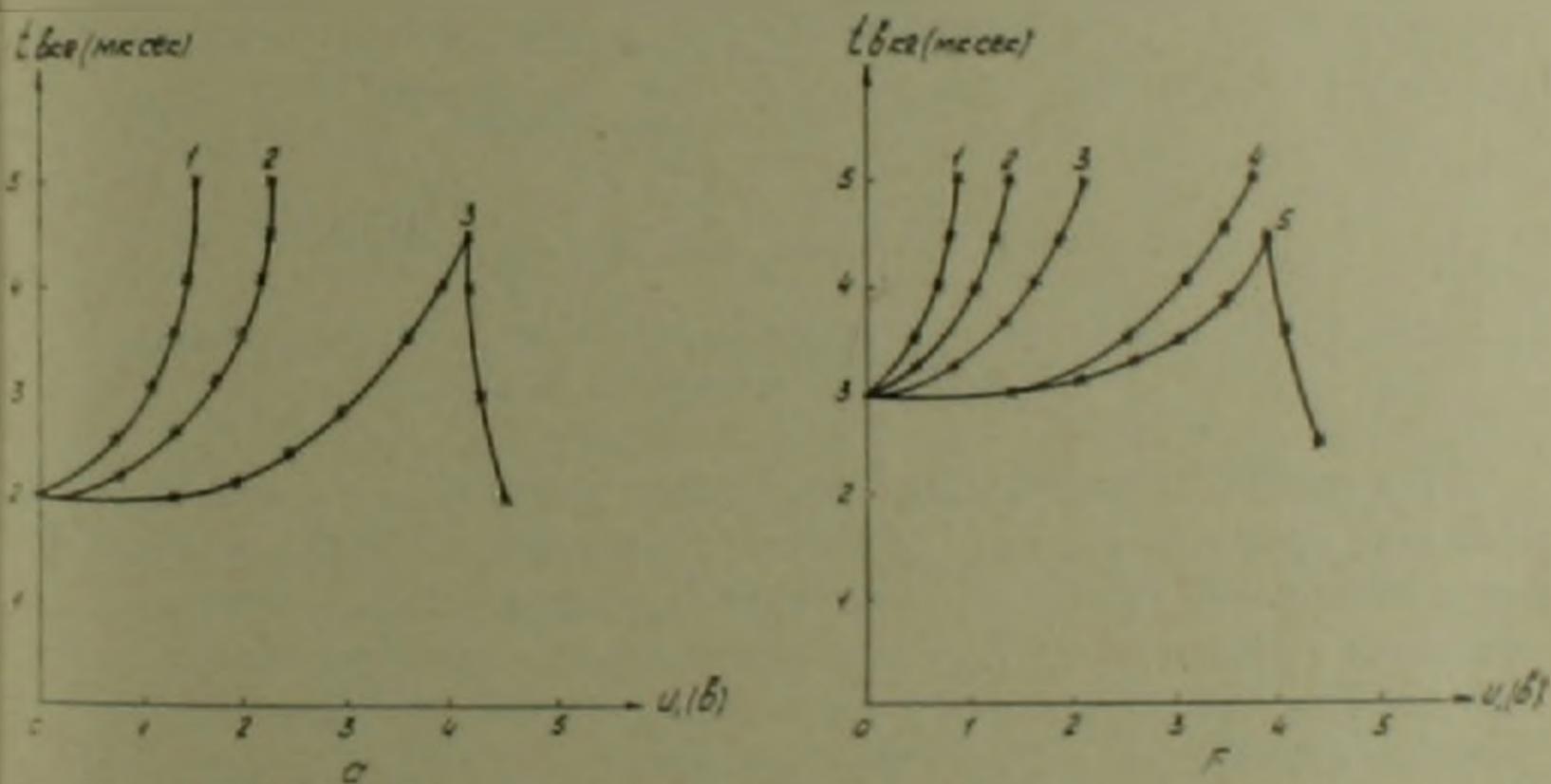


Рис. 3. Зависимость $t_{\text{вкл}}$ от амплитуды первого импульса, при разных значениях амплитуды второго U —при скважности 1—8 мксек, 2—16 мксек, 3—24 мксек. б—при скважности 1—8 мксек, 2—16 мксек; 3—24 мксек, 4—40 мксек, 5—50 мксек.

до тех пор, пока диод не перейдет в открытое состояние под действием первого. Это приводит к тому, что диод переключается и вторым сигналом, но время задержки $t_{\text{вкл}}$ меньше того же времени при отсутствии первого импульса.

Заметим, что с увеличением времени скважности Δt , $t_{\text{вкл}}$ уменьшается.

Такая картина повторяется и при изменении длительности импульсов. Диапазоны частот следования от 25 до 250 Гц—были выбраны так, чтобы второй импульс не влиял на первый. Измерения проводились при фиксированной частоте следования.

Влияние первого импульса на второй заметно исчезает только при $\Delta t \sim 100$ мксек. С понижением температуры интервал между импульсами, где наблюдается влияние, значительно возрастает. Изменение полярности первого импульса на обратное не меняет явления в целом. Диапазон действия первого импульса на второй по времени Δt при этом увеличивается.

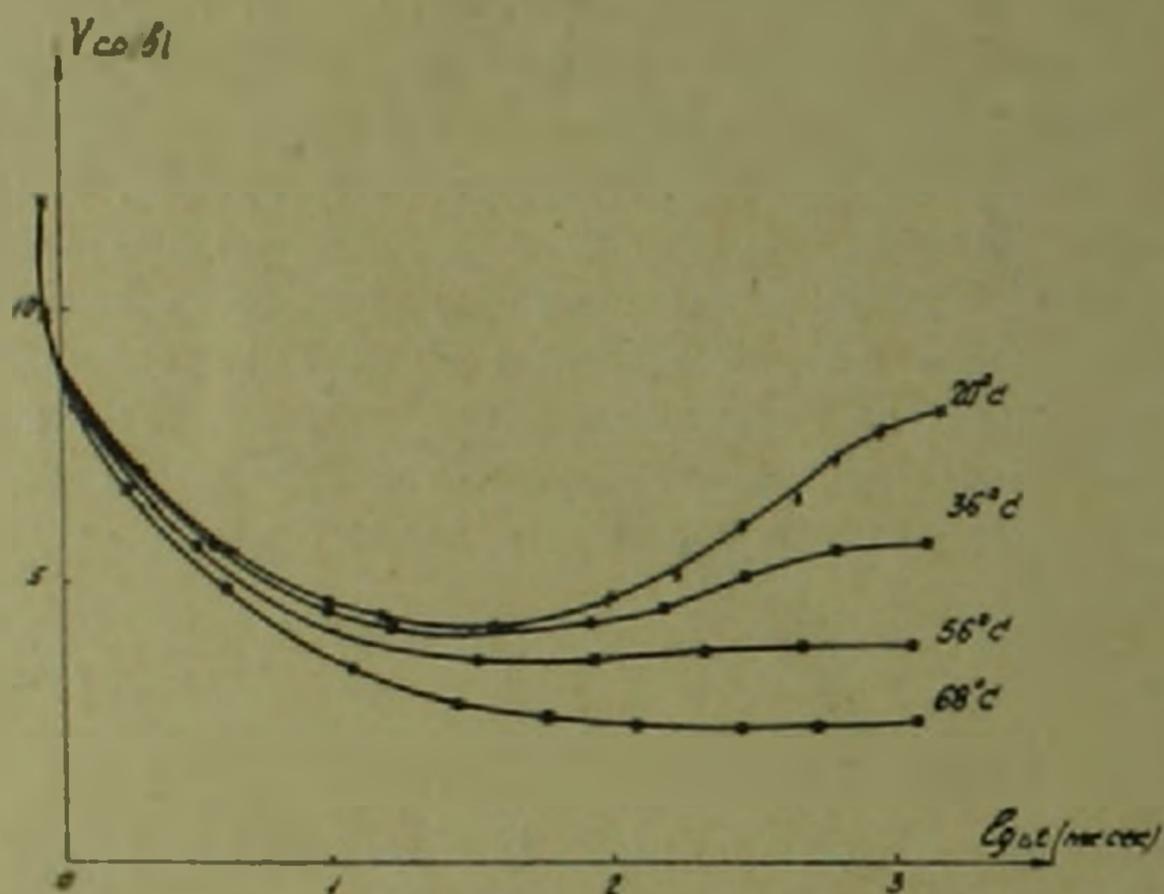


Рис. 4. Зависимость V_{cp} от величины включения (Δt) при линейном нарастании напряжения

При линейном нарастании напряжения снималась зависимость напряжения срыва от скорости увеличения напряжения (рис. 4). Практически измерялось время, через которое произошел срыв и величина напряжения в этот момент. При медленном нарастании напряжения срыва оно, естественно, совпадает со статическим. Затем, по мере увеличения скорости нарастания, его величина уменьшается примерно вдвое и затем вновь возрастает. Последнее объясняется тем, что при таких скоростях носители не успевают накопиться в базе диода.

Следует отметить уменьшение разброса напряжения срыва по температуре при работе на коротких импульсах.

Импульсные измерения проводились так же на промышленных кремниевых диодах, однако они не проявили свойств, аналогичных указанным выше. Это свидетельствует о том, что подобные свойства связаны исключительно с присутствием в базе диода глубоких уровней.

Институт радиоп физики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Նիկելիով կոմպենսացված սիլիցիումային դիոդների ստառիկ և
անցումային վոլտ-ամպերային բնութագրի հետազոտումը

Աշխատանքում ուսումնասիրված է նիկելի խառնուրդով սիլիցիումային S-դիոդների ստառիկ վոլտ-ամպերային բնութագրի (ՎԱԲ), երբ իրեն կոնտակտներ օգտագործվել են.

ա) Ալյումինի ձողիկ 500 միկրոն տրամագծով և նիկել հարստացված ֆոսֆորով

բ) փոշենստած ալյումինի շրջանակ, որի տրամագիծն է 300 միկրոն և $\Delta n (+0,1\% \text{ Sb})$.

գ) փոշենստած ալյումինի շրջանակ, որի տրամագիծն է 300 միկրոն և նիկել հարստացված ֆոսֆորով

Արդյունքում ստացված դիոդներն ունեցել են ՎԱԲ, որի մոտ ինչպես (1) աշխատանքում $V_{\min} \leq 1$ (b), $V_{\max}/V_{\min} \approx 8 - 30$, $J_{\text{cp}} \sim 50 - 150 \mu \text{ka}$:

Զափված է նաև իմպուլսային բնութագրերը մեկական և երկակի ուղղանկյունային իմպուլսների օգնությամբ:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Վ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

1 Г. М. Авикумян, С. В. Минасян, О. А. Оганесян, ДАН Арм. ССР, т. 4, № 1, (1970).
2 В. П. Сондаевский, Э. М. Каракушан, В. П. Объедков, В. И. Стафеев, Физика р-п переходов, Рига, 1966
3 Л. М. Калитонова, А. А. Лебедев и Н. А. Султанов, ФТП, 4, 1130 (1970).