

УДК 621.382.2

ФИЗИКА

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

Динамические характеристики S -диодов на основе кремния с примесью серебра

(Представлено 11/VII 1973)

По стандартной технологии были изготовлены S -диоды (p^+-n-p^+) из кремния, компенсированного серебром (¹). Впервые на кремниевых диодах проведены исследования вольт-амперных характеристик на большом переменном сигнале. Измерения проводились в диапазоне частот от $5 \cdot 10$ до $2 \cdot 10^4$ гц, в режиме близком к режиму генератора тока.

В результате исследований было обнаружено, что основные параметры диодов—напряжение срыва ($V_{ср}$) и ток срыва ($I_{ср}$) зависят от частоты, синусоидального сигнала. Частотная зависимость $V_{ср}$

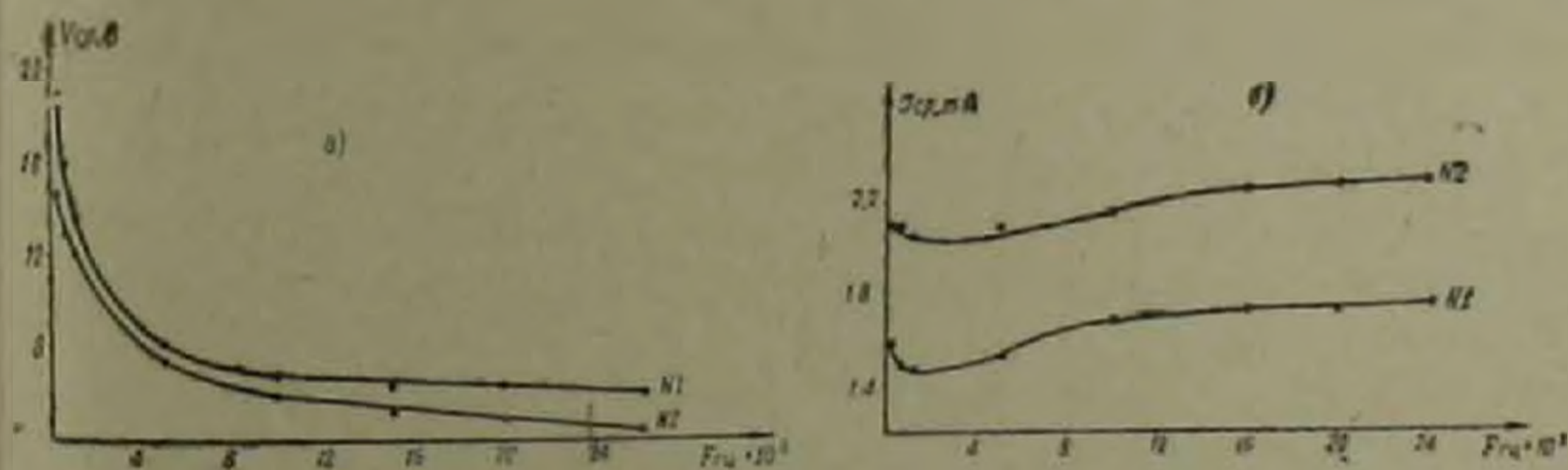


Рис. 1. а—частотная зависимость $V_{ср}$ (кривая 1—без светового возбуждения; кривая 2—со световым возбуждением); б—частотная зависимость $I_{ср}$ (кривая 1—в темноте; кривая 2—со светом)

изображена на рис. 1,б (кривая 1). Величина $V_{ср}$ убывает с ростом частоты во всем диапазоне частот. Поведение тока срыва (рис. 1, а кривая 1) отличается более сложной зависимостью: наблюдается уменьшение $I_{ср}$ с увеличением частоты подаваемого сигнала, и с частот порядка 1000 гц значение $I_{ср}$ слабо возрастает. Световое возбуждение приводит к тому, что $V_{ср}$ убывает (рис. 1, а кривая 2), относительно темнивого значения при фиксированной частоте, а сама частотная зависимость такая же как и в случае без освещения. Ве-



личины токов срыва растут по сравнению с темновыми значениями (рис. 1, б кривая 2) и частотная зависимость такая же как и в случае без освещения.

Вольтамперная характеристика (ВАХ) укладывается в закономерность вида $I=AV^n$, где величина n принимает значения больше 1 на всей ВАХ. Однако при частотах порядка 500 гц на ВАХ появляется участок сублинейной зависимости с $n \sim 0,6$. При освещении сублинейная зависимость на ВАХ наблюдается во всем диапазоне частот. Описанные выше результаты наблюдались при условии, когда величина тока I_g (где I_g наибольшее значение тока, протекающего через диод, когда диод находится в открытом состоянии) близка к значению тока срыва. Было замечено, что, если $f = \text{const}$, то при увеличении амплитуды сигнала генератора, величина V_{cr} убывает. Таким образом, чем больший ток протекает через диод (I_g), тем меньше величина V_{cr} (рис. 2, а). При подаче на диод напряжения V , близкого к $V_{cр0}$ ($V_{cр0}$ наибольшее значение величины напряжения срыва для данной частоты), переключение диода в состояние с высокой проводимостью происходит в момент времени t , близкий к $\frac{1}{4}T$. С увеличением амплитуды V

диоды переключаются при временах, меньших $\frac{1}{4}T$. В первом случае,

когда $V \gg V_{cр0}$ продолжительность времени инжекции порядка $\frac{1}{4}T$

и V нарастает. За время $3/4T$ (где $\frac{1}{4}T$ время спада V , а $\frac{2}{4}T$ время

обратного полупериода, когда носители вытягиваются из базы) большая часть инжектированных носителей выходит из базы. При $I_g/I_{cр} \gg 1$ происходит модуляция базы, которая объясняет уменьшение V_{cr} в частотной зависимости. В случае когда $V \gg V_{cр0}$, т. е. $I_g > I_{cр0}$ при $f = \text{const}$, переключение диодов в открытое состояние происходит при временах, меньших $1/4T$. В диоды дольше и больше инжектируются носители, а за время $3/4T$ число оставшихся в базе носителей возрастает, происходит большая модуляция базовой области и V_{cr} , в зависимости от I_g , убывает. Уменьшение V_{cr} наблюдается во всем диапазоне частот. Следует выделить, что убывание V_{cr} от величины I_g носит резкий характер при малых значениях отношения $I_g/I_{cр0}$. С увеличением $I_g/I_{cр0}$ величина V_{cr} стремится к насыщению. Так же необходимо отметить, что до частот $\sim 5 \cdot 10^3$ гц убывание V_{cr} происходит резко, а при $f > 5 \cdot 10^3$ гц более плавно.

В области частот после $4 \cdot 10^3$ гц модуляция базы (или ее части) происходит не только при $I_g > I_{cр0}$, но и тогда, когда $I_g \sim I_{cр0}$. Поясним на следующем примере, если $I_g < I_{cр0}$, амплитуды сигнала недостаточно для переключения диода, на ВАХ имеются одни закономерности, а при $I_g > I_{cр0}$ — уже другие — и вся ВАХ смещается в область больших токов.

Токи срыва также зависят от величины I_g . В этом случае можно выделить две области частот в первой (до 300 гц) I_{cr} слабо убывает с ростом I_g/I_{cr0} , а во второй (больше 300 гц) увеличиваются с ростом I_g (рис. 2, б).

На прямой ветви ВАХ, с частоты ~ 1500 гц до основного участка отрицательного сопротивления (ОС) возникает область дополнительного «неглубокого» ОС. С увеличением частоты эта дополнительная область ОС перемещается по ВАХ к основному «срыву». Для проверки, что за изложенные выше эффекты ответственна емкость системы, или процессы, ведущие к эффектам, похожим на явления, связанные с

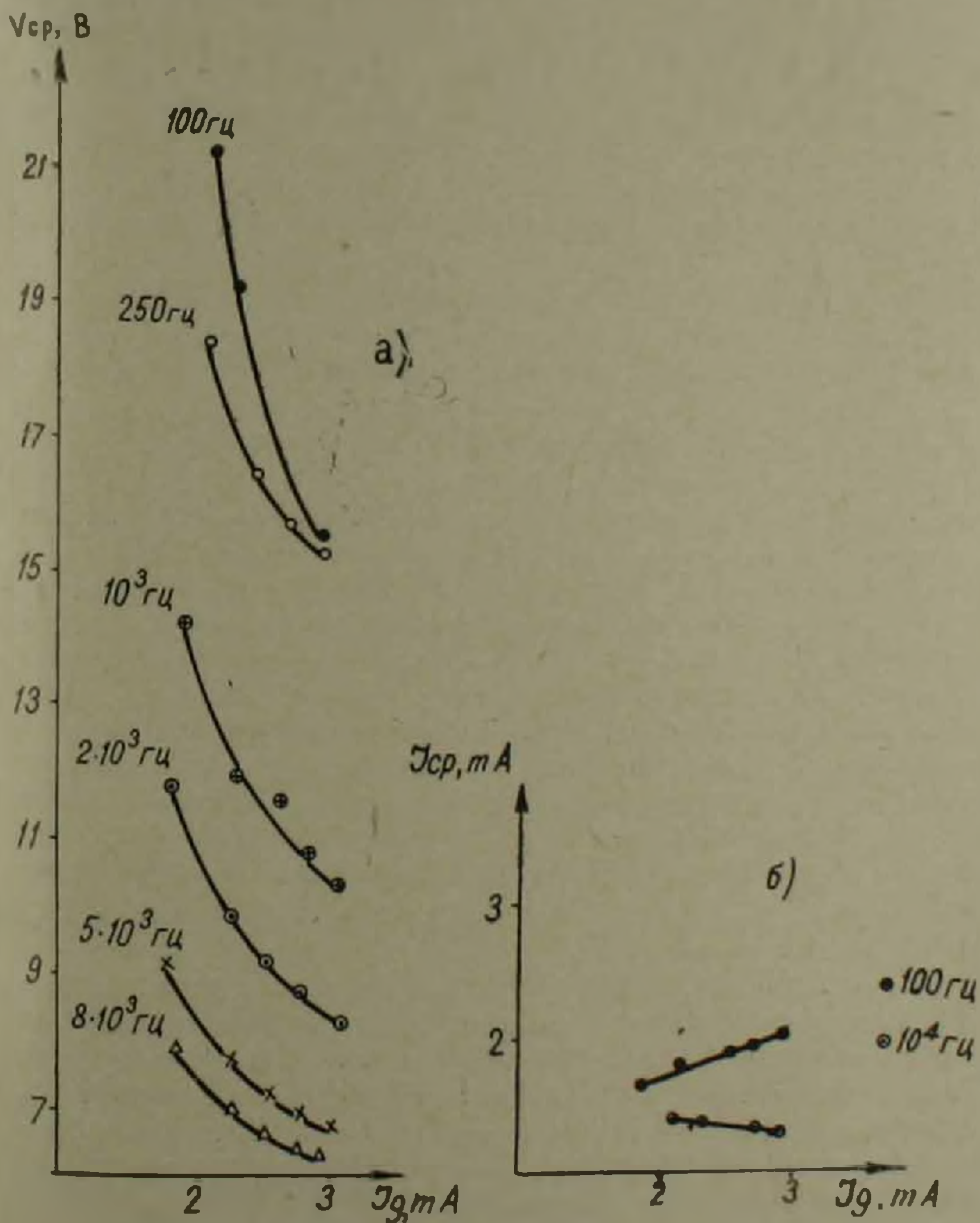


Рис. 2. а—зависимость V_{cp} от величины I_g ;
б—зависимость I_{cr} от величины I_g

емкостью к исследуемым диодам параллельно подключали магазин емкостей. Действительно, аналогичные эффекты: возникновение ОС и ее перемещение по ВАХ, можно наблюдать при меньших частотах, увеличением величины подключенной емкости. Методика эксперимента была следующей. При какой-то заданной частоте фиксировалось (по току) положение дополнительной ОС на ВАХ. Подключая емкость и уменьшая частоту добивались того, что начало дополнительной ОС находилось в той же точке ВАХ. Выяснилось, что величина параллельно подключаемой емкости уменьшается с увеличением частоты (рис. 3). Следовательно, можно предположить, что емкость системы подключена параллельно емкости перехода и активному сопротивлению базы, и увеличивается с ростом частоты подаваемого сигнала. Было также обнаружено, что величина емкости системы зависит от I_g (рис. 3).

Освещение светом из видимой области, со стороны p -контакта, приводит к уменьшению напряжений на исследуемых структурах, при которых возникает дополнительная S -образность.

К изложенному выше необходимо добавить следующее. Нами на двухлучевом осциллографе С1—18 проверялось соотношение между фазами напряжений на диоде (V_g) и подаваемого генератором, а также V_g и напряжением на последовательно соединенном к диоду токовым сопротивлении R . Мы не обнаружили заметной разности фаз, что в общем сходится с оценками, если диод представить в виде эквивалентной схемы, содержащей Π -ю соединенную емкость и сопротивление.

К изложенным свойствам и явлениям необходимо добавить, что при обратном ходе прямой ветви наблюдается гистерезис. Параметры гистерезиса, в частности $I_{пор}$ ($I_{пор}$ определяется током, когда происходит переключение с левой ветви гистерезиса на правую), зависят как от частоты подаваемого электрического сигнала и от величины освещенности. Этот гистерезис следует, возможно, связать с реактивными свойствами прибора, а также явлением шнурования.

Исследуемые диоды, под воздействием света, обладают интересными переключающими свойствами. В режиме генератора тока (имеется в виду для пропускного, прямого направления), когда ток через диод I_g меньше величины I_{cr} для световой ВАХ, но больше I_{cr0} без освеще-

ния. В этом случае часть времени, меньше $\frac{1}{4}T$, когда диоды находят-

ся некоторое время и в открытом состоянии, подается световой сигнал. Под действием света диоды с темновой ВАХ переходят на световую с тем же значением I_g лишь с той разницей, что диоды на протяжении всего полупериода находятся только в закрытом состоянии (рис. 4, а, б). Амплитуда сигнала, подаваемого генератором, поддерживается постоянной, и ее уже недостаточно, чтобы диоды находились и в открытом состоянии, как в случае без освещения. При снятии светового возбуждения диоды восстанавливают свое исходное состояние. На рис. 4, б показаны формы напряжений на диоде со светом (кривая 2) и без светового воздействия (кривая 1).

В режиме генератора напряжения при $I_g < I_{ср0}$, когда диоды на протяжении всего полупериода находятся только в закрытом состоянии, подачей светового сигнала можно перевести их и в открытое состояние. Как и в первом случае амплитуда подаваемого на диод электрического сигнала поддерживается неизменной. Выключение светового сигнала приводит к тому, что диоды возвращаются в исходное состояние.

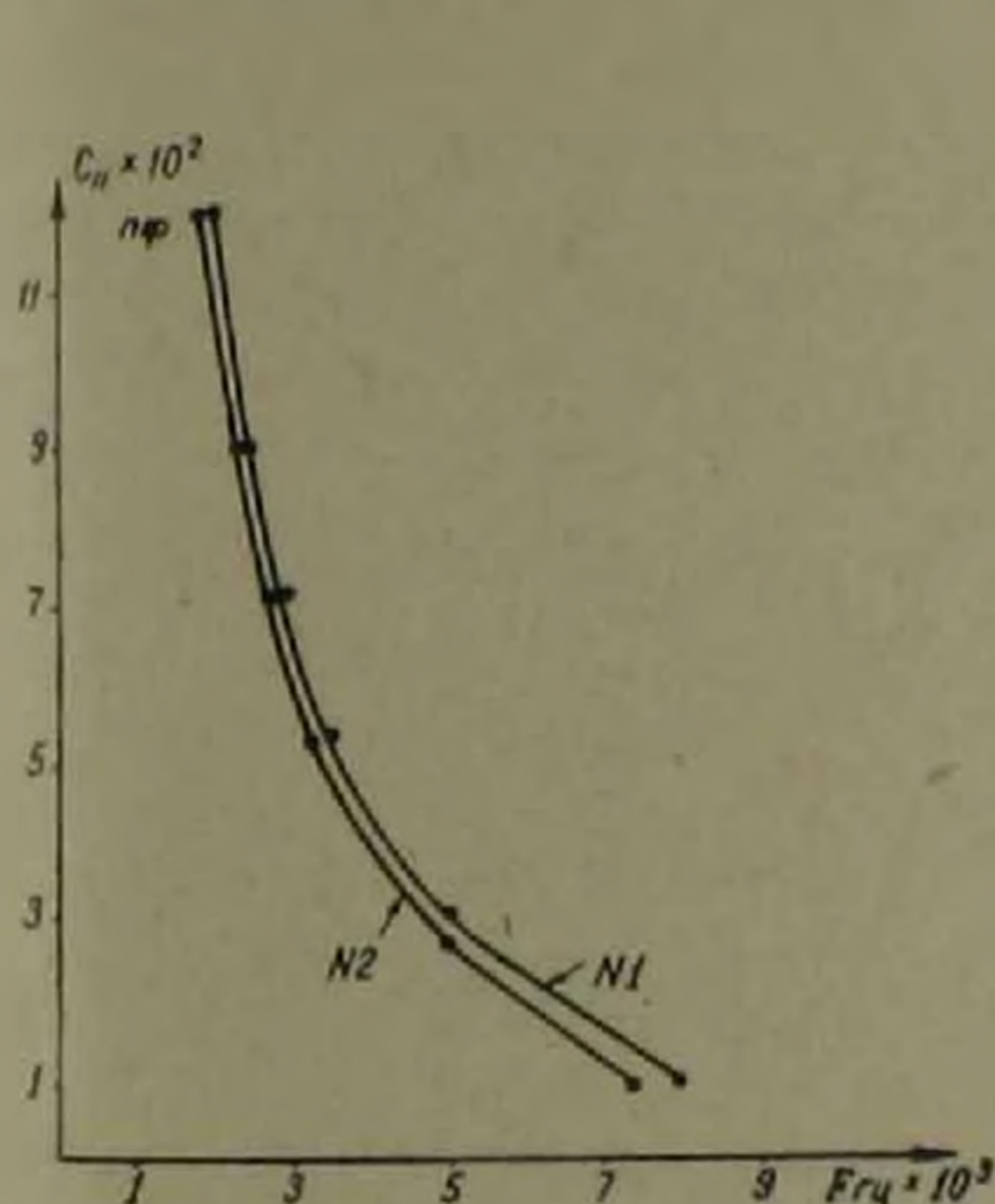


Рис. 3. Зависимость величины параллельной емкости от частоты

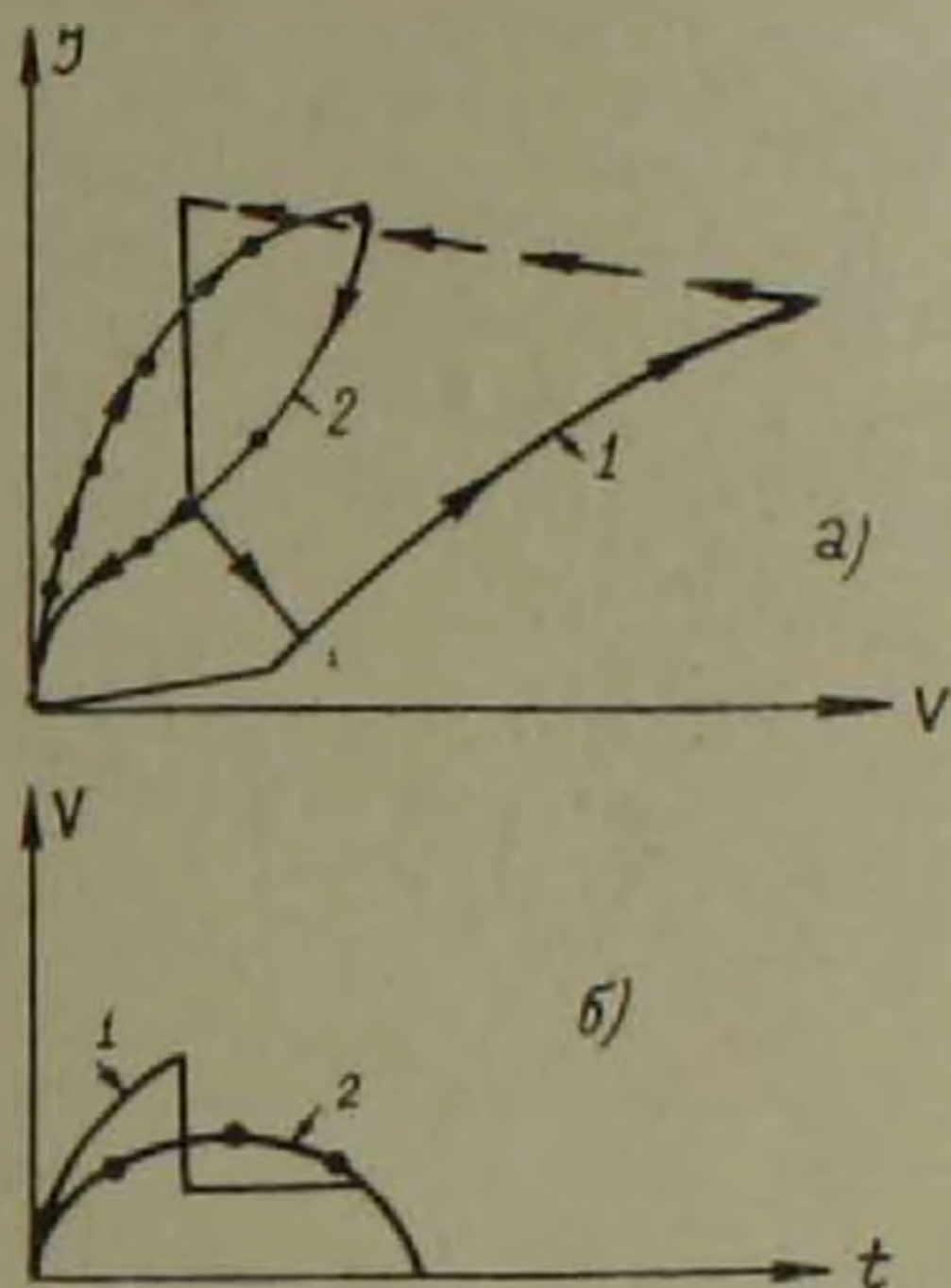


Рис. 4. а—переключение светом с темновой ВАХ (кривая 1) на световую (кривая 2); б—формы импульса напряжения на диоде в темноте (кривая 1) и со световым возбуждением (кривая 2)

Отсутствие литературных данных по исследованию S -диодов на большом синусоидальном сигнале не позволяет провести сравнение с полученными результатами. В ⁽²⁾ описаны результаты исследований прохождения синусоидального тока, через СВЧ диоды в СВЧ-диапазоне. Автор ⁽²⁾ указывает на возможность модуляции сопротивления базы в этом случае. Несмотря на то, что в S -диодах реализуется другая физическая ситуация (наличие глубоких уровней, и $d/L_p \gg 1$ вместо $d/L_p \ll 1$, где d —длина базы, L_p —диффузионная длина), аналогичный эффект модуляции сопротивления базы с увеличением мощности (амплитуды переменного сигнала) наблюдался и на наших структурах. () чем наглядно свидетельствует зависимость $V_{ср}$ от I_g (рис. 2, а).

Для сравнения нами также исследовались приборы, не содержащие в базовом материале глубоких уровней. Диоды изготавливались из того же n -кремния ($\rho \approx 40 \div 50 \text{ ом.см}$) по той же сплавной технологии. Регулировкой времени сплавления при температуре 680°C , добивались

того, чтобы базы приборов были различной длины. Сравнение проводилось так же с диодами ДГ—Ц24, Д312, Д223Б. Последние предназначены для работы в разных диапазонах частот от 50 до $30 \cdot 10^6$ гц. Указанные диоды, а также изготовленные из кремния, не содержащего глубоких уровней серебра, не имеют отрицательного дифференциального сопротивления, как в статическом так и в динамическом режимах, обусловленного глубокими примесными центрами в запрещенной зоне базового материала. Однако, ряд явлений, в частности, возникновение «излома», имеющего ярко выраженную S-образную форму при частотах $\sim 1500 \div 2000$ гц и перемещение этого «неглубокого» ОС (перепад напряжений $V \sim 0,2$ в) вверх по ВАХ с увеличением частоты, наблюдается и на этих приборах. Описанный эффект, возникновение дополнительного ОС, исчезает при нагревании диодов, а при охлаждении перепад напряжений V увеличивается.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Հայկական ՍՍՀ ԴԱ թղթակից-անդամ Գ. Մ. ԱՎԱԿՅԱՆԻ, Ս. Գ. ԳՈՂՄԱԶՅԱՆ

Արժաթի խառնուրդ պարունակող սիլիցիումից պատրաստված S-դիոդների
դինամիկ բնութագրերը

Հնդունված տեխնոլոգիայով արժաթի խառնուրդով սիլիցիումից պատրաստված են S-դիոդները։ Սինտետիզային աղդանշանի հաճախային լայն տիրույթում առաջին անգամ կատարված են S-դիոդների հետազոտությունները։ Փորձնական ճանապարհով ստացված են հիմնական պարամետրերի հաճախային կախվածությունները, հայտնաբերված են փախանջատող հատկություններ S-դիոդների մոտ լույսի ազդեցության տակ։

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Г. М. Авакьянц, С. Г. Долазян, Э. А. Хазарджян, Краткое содержание докладов Одесского совещания по глубоким центрам в полупроводниках, г. Одесса, 6, 1972.
- ² В. А. Шпирт, Радиотехника и электроника, т. XIII, 9 (1968).