

УДК 537.312.5

ФИЗИКА

Член-корреспондент АН Армянской ССР Г. М. Авакьянц,
З. Н. Адамян, С. А. Тарумян

Действие электронов низких энергий на характеристики S-диодов из кремния, компенсированного цинком

(Представлено 25/II 1974)

Известно много работ посвященных действию электронного луча на полупроводниковые материалы и приборы (¹⁻³).

В большинстве этих работ энергия электронного излучения достаточна для образования в толще полупроводника радиационных дефектов, которые и приводят к качественно новым физическим результатам. Так, например, в описанном в (⁴) случае, облучение электронами обычных *p-n* переходов вызывало появление S-образности на вольтамперной характеристике. Энергия электронов в этих опытах лежала в интервале 1—10 Мэв. Представляет большой интерес также бомбардировка полупроводниковых приборов электронами с низкой энергией, не приводящей к образованию радиационных дефектов (не превышающий десятков кэв). Чувствительность полупроводниковых приборов к электронным пучкам указанных энергий позволяет создать ряд оригинальных электронных устройств. Такие исследования проведены в данной работе на диодах с S-образной вольтамперной характеристикой из кремния, компенсированного цинком. Технология компенсации материала и последующее изготовление диодов подробно изложено в (⁵). *n*-тип кремний с исходным удельным сопротивлением 4 ом·см после компенсации сохранил тип проводимости и имел сопротивление $3 \div 4 \cdot 10^3$ ом·см. С целью непосредственного облучения базы диода использовались сошлифованные образцы. В качестве источника электронного излучения использовалась электронная пушка установки ПРСЭЛ с Λ -образным вольфрамовым накалом, длиной 12 мм и диаметром 0,15 мм. Ускоряющее напряжение плавно регулировалось в диапазоне 0—20 кВ. Давление в рабочей камере было менее 10^{-3} торр. Ток электронного луча измерялся при помощи микроамперметра М95, отрицательной клеммой, присоединенной к одному из выводов диода, и положительной—прямо на землю. Ток пучка измерялся непосредственно перед снятием характеристик диодов. Так как поперечное сечение

электронного луча было больше, чем сошлифованная площадь базы диода, то при измерении тока луча измерялась также и та часть тока, которая попадала на металлические подложки и выводы. С целью исключения последних (паразитных в данном случае) токов, на базу диодов перед лучом ставились металлическая рамка с размерами окошка $0,19 \times 1,35$ мм. Одна сторона рамки покрывала тыловой контакт, а другая — кончик алюминиевой полусферы.

Накопленные заряды на металлической рамке разряжались на землю через короткозамкнутый провод и таким образом не давали вклада в измеряемый ток, и не создавали тормозящего поля. Измерения проводились при комнатной температуре.

На рис. 1 показана зависимость тока луча от ускоряющего анодного напряжения для двух разных токов накала пушки. Кривая 1 соот-

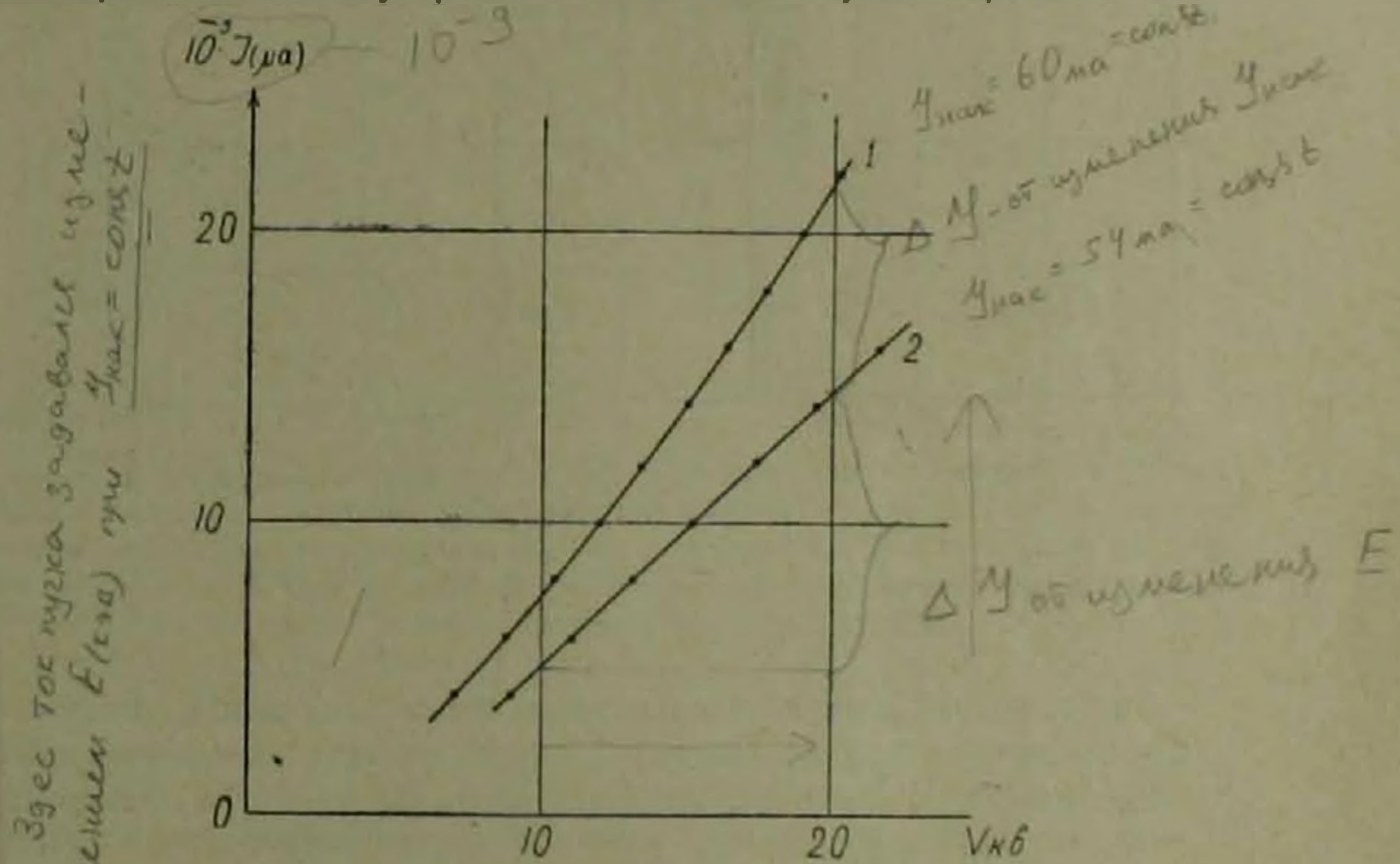


Рис. 1. Зависимость тока электронного пучка от ускоряющего напряжения для двух токов накала 60 ма (кривая 1) и 54 ма (кривая 2)

ветствует току накала $I_{нак} = 60 \text{ ма}$, а кривая 2 — току $I_{нак} = 54 \text{ ма}$. Из рисунка видно, что при меньшем токе накала, зависимость почти линейная. С увеличением тока накала эта зависимость переходит в суперлинейную. Отклонение зависимости тока электронного луча от ускоряющего анодного напряжения от общеизвестной — $I \sim V^{3/2}$ — объясняется особенностями структуры анода и наличием системы фокусирующих линз на пути электронного пучка. При более низких напряжениях (меньше 7 кв) эта зависимость резко отличается от линейной. Ввиду отсутствия заметного воздействия электронного луча с током ниже $4 \cdot 10^{-9}$, а на характеристики исследуемых приборов, зависимость

тока луча от ускоряющего напряжения при значениях последнего ниже 7 кВ на рис. 1 не приведены.

Для количественного описания процессов, происходящих в базе диода, важное значение имеет определение числа электронов, попадающих на данную поверхность в единицу времени. Это количество электронов, рассчитанное по формуле $N = \frac{I_{\text{луча}}}{e}$, в зависимости от тока луча изображено на рис. 2, а, где $I_{\text{луча}}$ — ток электронного луча, e — заряд электрона. Эта зависимость линейная и количественно не зависит от тока накала пушки, так как данный ток луча при большем токе накала получается уже при меньшем ускоряющем напряжении.

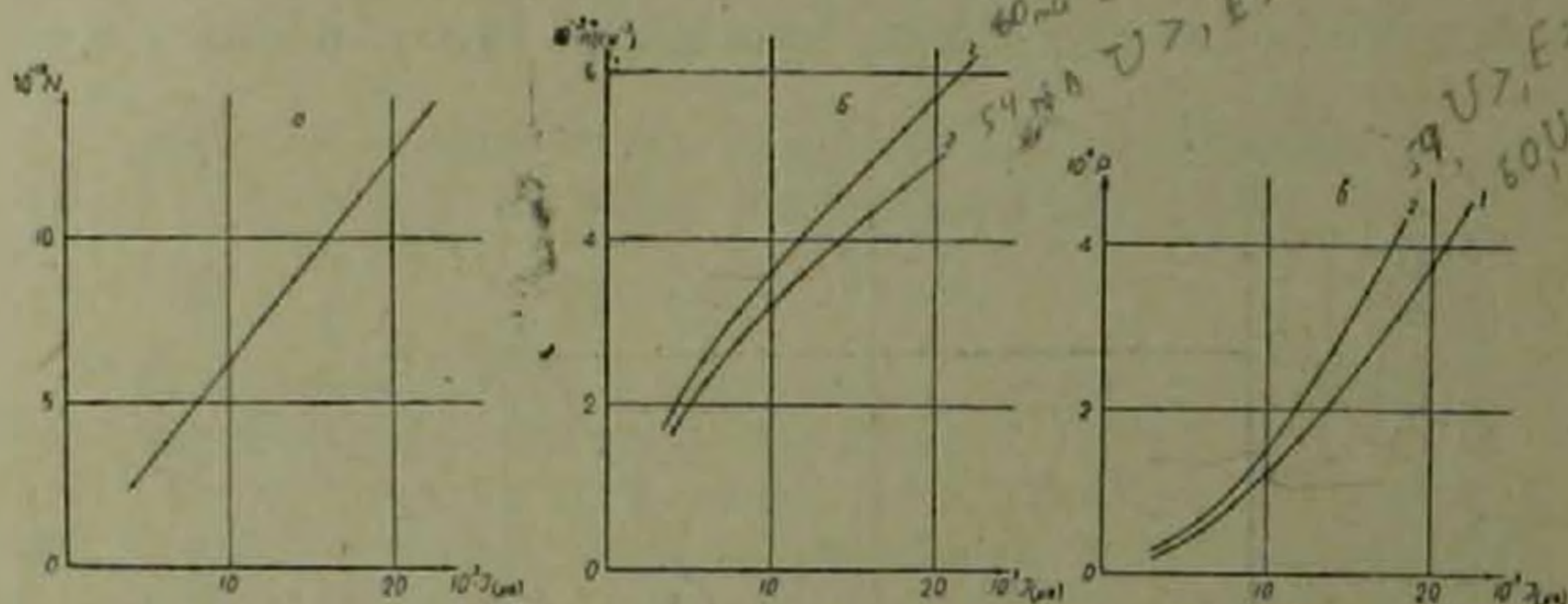


Рис. 2. а — зависимость числа частиц, падающих на данную поверхность в единицу времени, от тока пучка; б — зависимость концентрации электронов в пучке от тока луча при токах накала 60 мА (кривая 1) и 54 мА (кривая 2); в — зависимость падающей на данную поверхность энергии в единицу времени от тока пучка для тех же токов накала

Определенный интерес представляет также и величина концентрации электронов в пучке. На рис. 2, б показана зависимость этой концентрации от величины тока луча $I_{\text{луча}} = esvn$, где e — заряд электрона, s — площадь рамки, v — скорость электронов, n — концентрация электронов. Скорость электронов рассчитывается исходя из предположения, что она вблизи нити накала практически равна нулю, и что потенциальная энергия полностью переходит в кинетическую — $\frac{mv^2}{2} = eU$, где U — разность потенциалов между ускоряющим электродом и накалом пушки, m — масса электронов. Из рисунка видно, что при большем накале (кривая 1) концентрация электронов несколько больше, чем при меньшем токе накала (кривая 2). Постоянство тока луча, при изменении смещения накала пушки, достигается за счет изменения напряжения ускоряющего поля: чтобы при меньшем накале через данную поверхность в единицу времени прошло одинаковое количество носителей заряда, скорость последних должна быть больше.

Зависимость концентрации электронов от тока луча при обоих смещениях накала носит сублинейный характер.

На рис. 2,а изображена зависимость падающей на данную поверхность мощности (энергия, падающая на данную поверхность в единицу времени) в зависимости от тока луча для двух вышеуказанных смещений накала. При данном токе пучка и меньшем смещении накала, за счет увеличения скорости электронов, падающая мощность оказывается больше.

Статические вольтамперные характеристики кремниевых S-диодов с примесью цинка при непрерывном облучении электронами низких энергий снимались на двухкоординатном самопишущем потенциометре ПДС—021М в режиме генератора тока (рис. 3). Рис. 3,а соответствует

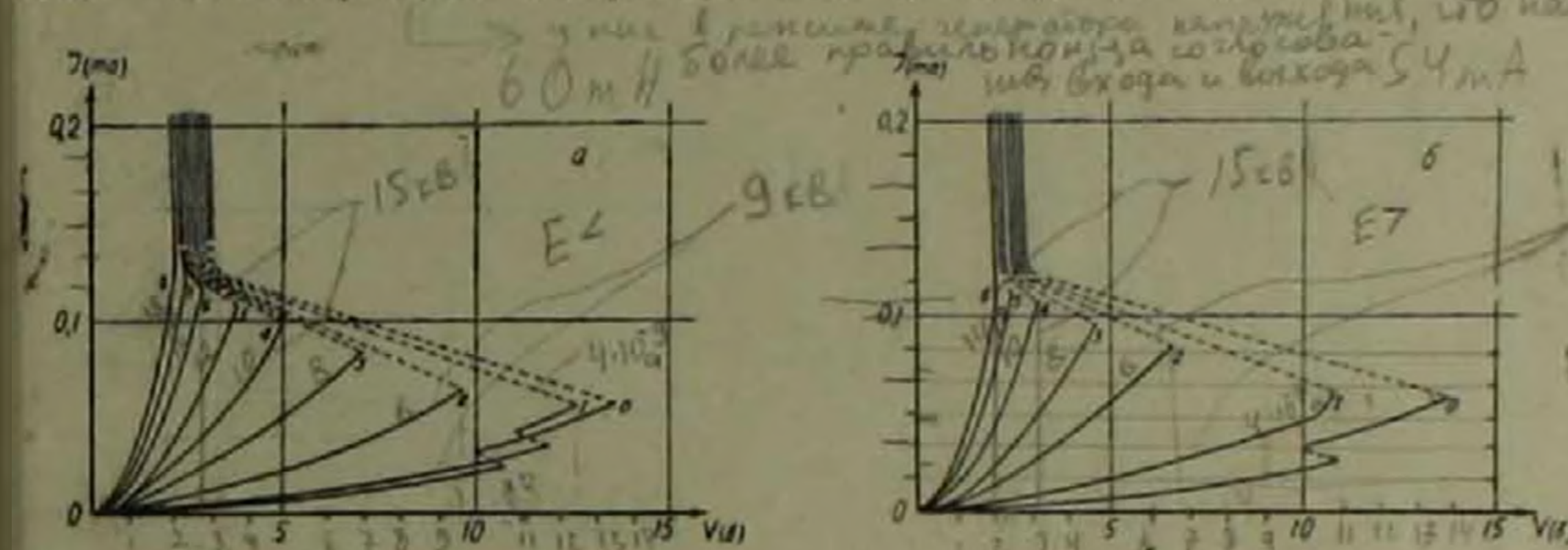


Рис. 3 Статические вольтамперные характеристики диодов при разных значениях тока электронного пучка: а—соответствует току накала 60 ма; б—54 ма. Кривая (0) — «темновая» характеристика, 1—при токе пучка равном $4 \cdot 10^{-9}$ а. Последующие кривые сняты через $2 \cdot 10^{-9}$ а тока луча

току накала пушки 60 ма, а рис. 3,б—54 ма. Кривая (0) является «темновой» характеристикой прибора. Идентичным номерам кривых на обоих рисунках соответствуют одни и те же токи пучка. Маленький участок отрицательного сопротивления на приведенном образце, при меньшем смещении накала пушки, исчезает уже при токе пучка равном $4 \cdot 10^{-9}$ а, а при большем смещении он еще сохраняется. Неконтролируемые участки характеристик начерчены пунктирной линией. Закон изменения статических вольтамперных характеристик до срыва с увеличением тока луча в основном, резко меняется на начальном участке. А, начиная приблизительно с одного вольта до напряжения срыва, с увеличением интенсивности возбуждения, он приближается к линейному. Из рис. 3 видно, что при низком смещении накала отрицательный участок на вольтамперной характеристике исчезает уже при токе луча равном $14 \cdot 10^{-9}$ а, в то время как при сравнительно высоком смещении и том же токе луча он еще отчетливо наблюдается. Отрицательный участок здесь полностью исчезает лишь при токе $18 \cdot 10^{-9}$ а. С дальнейшим увеличением тока луча в обоих случаях происходит незначительное уменьшение напряжения на диоде.

Действие луча на диод после срыва незначительно. Статические вольтамперные характеристики снимались также при вышеупомянутых двух смещениях накала, но уже при постоянном ускоряющем поле. В этом случае уменьшение напряжения срыва с увеличением тока накала

заметно меньше, чем при постоянном токе, но уже с меньшим ускоряющим полем. Это видно также и из рис. 1 и рис. 3. Кривые 2 и 1, 6 и 4 на рис. 3 сняты соответственно при ускоряющем поле 9 и 15 кВ соответственно. Эти пары кривых мало отличаются друг от друга. Представляет интерес также и зависимость напряжения срыва от тока пучка (рис. 4, а). На этом рисунке отчетливо видно, что с увеличением тока луча, при малом токе накала напряжение срыва падает быстрее, чем при большом токе накала.

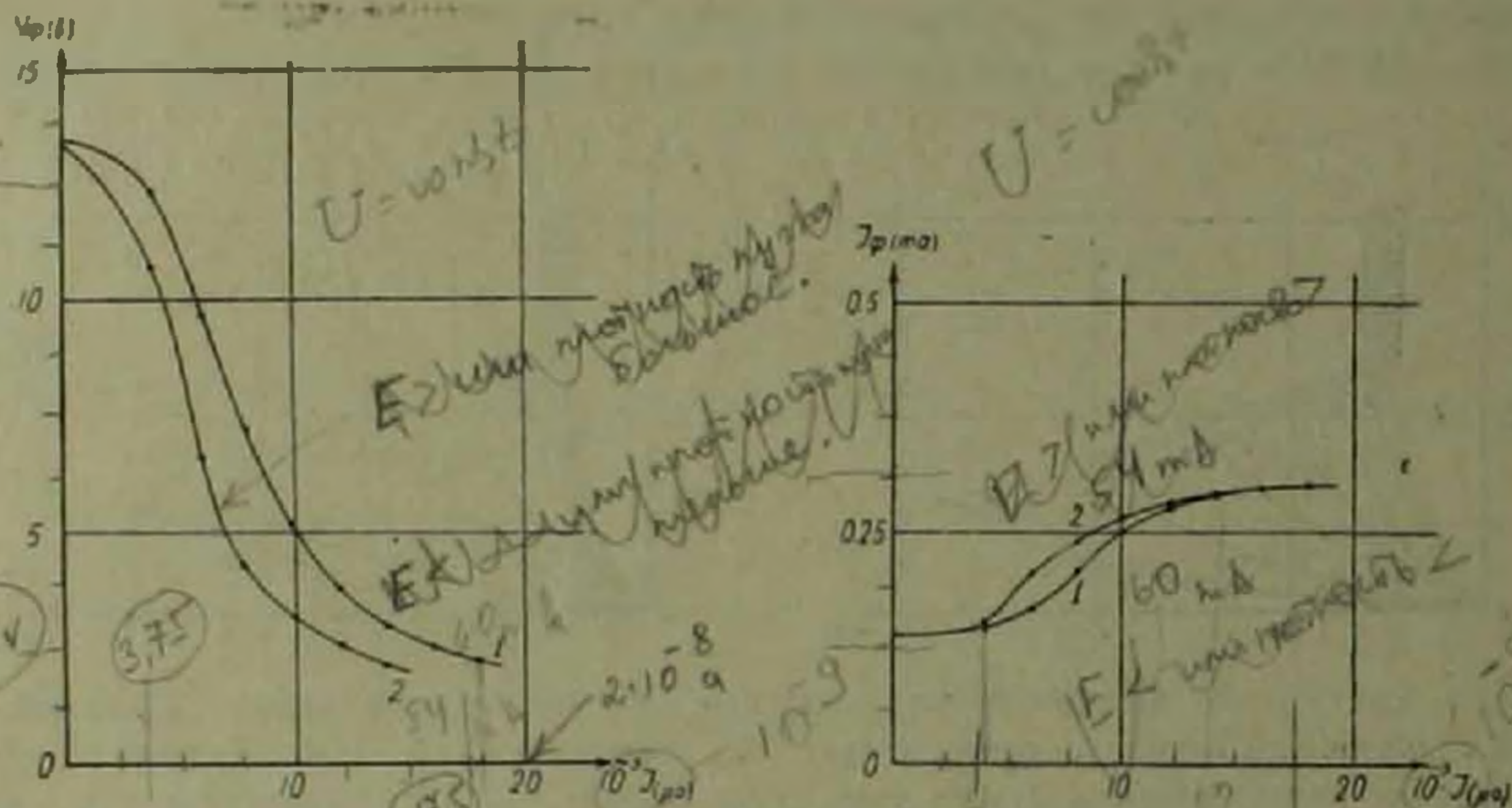


Рис. 4. Зависимость напряжений срыва а и тока срыва б от тока луча при накалах 60 ма (кривая 1) и 54 ма (кривая 2)

Зависимость тока срыва диодов от тока пучка в обоих случаях отличается в основном в интервале токов $4 \div 12 \cdot 10^{-9} \text{ а}$. Начальные и конечные участки этих характеристик полностью совпадают друг с другом.

Отметим также, что после облучения образцов электронами с энергией порядка 30 кэВ темновые вольтамперные характеристики заметно не меняются. Характеристики устойчивы также по времени в любой точке непрерывных линий на рис. 3, что, по-видимому, исключает тепловую природу исчезновения отрицательного участка при облучении. Это подтверждается еще и тем, что тепловая мощность, выделяемая при протекании через образец тока, равного току срыва, на порядок больше падающей на поверхность диода мощности. Тот факт, что изменение тока накала (в небольших пределах) не вызывает существенных изменений характеристик, при постоянном ускоряющем напряжении, можно понять если считать, что определяющим фактором в генерации электронно-дырочных пар в полупроводнике является энергия падающих электронов. Несмотря на относительно небольшие энергии электронов, их действие на прибор значительно, что видно по исчезновению S-характеристики.

Исследуемые нами S-диоды могут быть использованы в качестве датчиков электронного излучения. В заключение авторы выражают благодарность Г. Т. Геворкяну за постоянную помощь и подготовку установки к измерениям.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Հայկական ՍՍՀ ԳԱ րդրակից-անդամ Կ. Մ. ԱՎԱԶԻԱՆ, Զ. Ն. ԱԴԱՄՅԱՆ, Ս. Ա. ԹԱԹՈՒՄՅԱՆ:

Ցածր էներգիայով օժտված էլեկտրոնների ազդեցությունը ցինկով կոմպենսացված սիլիցիումային S-դիոդների բնութագրերի վրա

Հետազոտված է մինչև 20 կէվ էներգիայով օժտված էլեկտրոնային ինչի ազդեցությունը ցինկով կոմպենսացված սիլիցիումային դիոդների ստատիկ վոլտամպերային բնութագրերի վրա: Ցույց է տրված, որ էլեկտրոնային փնջի $1,6 \cdot 10^{-5}$ ս հոսանքի դեպքում վոլտամպերային բնութագրի բացառական տիրույթը անհետանում է:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Радиационная физика неметаллических кристаллов. Изд. „Наука и техника“, Минск, 1970. Изд. „Наукова думка“, Киев, 1967, 1971, т. 3, ч. 1. ² Радиационная физика кристаллов и p-n переходов, изд. „Наука и техника“, Минск, 1972. ³ L. C. Olsen, IEEE Trans. on Nuclear Sci., NS-19, № 6, 1972. ⁴ И. Ф. Николаевский, В. В. Шуренков, ФТП, т. 7, стр. 2265 (1973). ⁵ Хейс, Калтер, Хокин „Электроника“, т. 46, № 18 стр. 34, 1973. ⁶ Г. М. Авакьянц, З. Н. Адамян, Р. С. Барсегян, С. В. Оганесян, С. А. Тарумян, ДАН Арм ССР, т. LII, № 2 (1971).