

УДК 621.382.27

ФИЗИКА

Член-корреспондент АН Армянской ССР Г. М. Авакьянц,
З. Н. Адамян, В. М. Арутюнян, Р. С. Барсегян, С. В. Оганесян

Некоторые исследования кремниевых диодов с примесью цинка как элементов оптронной пары

(Представлено 7/III 1973)

Целью настоящей работы является исследование чувствительности к свету временных характеристик, указанных в заголовке диодных структур, для выявления возможности использования их в качестве фотоприемников в оптронных парах, большое разнообразие применений которых в современной электронике показано в (1).

Для изготовления диодных структур использовался кремний *n*-типа с удельным сопротивлением 4 и 40 ом см. Технология изготовления компенсированного цинком кремния и диодных структур на его основе изложена в (2).

При создании оптронной пары, прежде всего необходимо иметь достаточно хорошую совместимость спектральных характеристик источника и приемника света. Такая совместимость была достигнута между светодиодами из арсенида галлия с примесью кремния и *S*-диодами из кремния, компенсированного цинком.

В оптронной паре со светодиодом использовались сошлифованные диоды—освещалась непосредственно база диода. Расстояние между светодиодом и *S*-диодом было 1 мм. На рис. 1 изображено семейство статических вольтамперных (ВАХ) характеристик, измеренных при разных мощностях излучения светодиода. У всех диодов с увеличением интенсивности света наблюдалось постоянство остаточного напряжения (около 1—1,5 в) и уменьшение напряжений срыва. Остаточные токи либо не менялись, либо незначительно росли. Закон изменения тока от напряжения до срыва (в темноте) может быть сублинейным, переходящим в суперлинейный. Со светом участок сублинейности на ВАХ становится еще более ярковыраженным.

Проводились измерения ВАХ диодов в паре со светодиодами в широком интервале температур—196°: +80°С. Диоды сохраняют свою фоточувствительность во всем диапазоне температур. С уменьшением температуры и при освещении наблюдается довольно резкий рост токов

и уменьшение напряжений срыва. Без освещения же с уменьшением температуры токи срыва незначительно падают, а напряжения растут (²). Увеличение напряжений срыва в темноте происходит гораздо быстрее, чем при свете. Соответственно росту токов срыва с уменьшением температуры и под действием света увеличиваются и остаточные

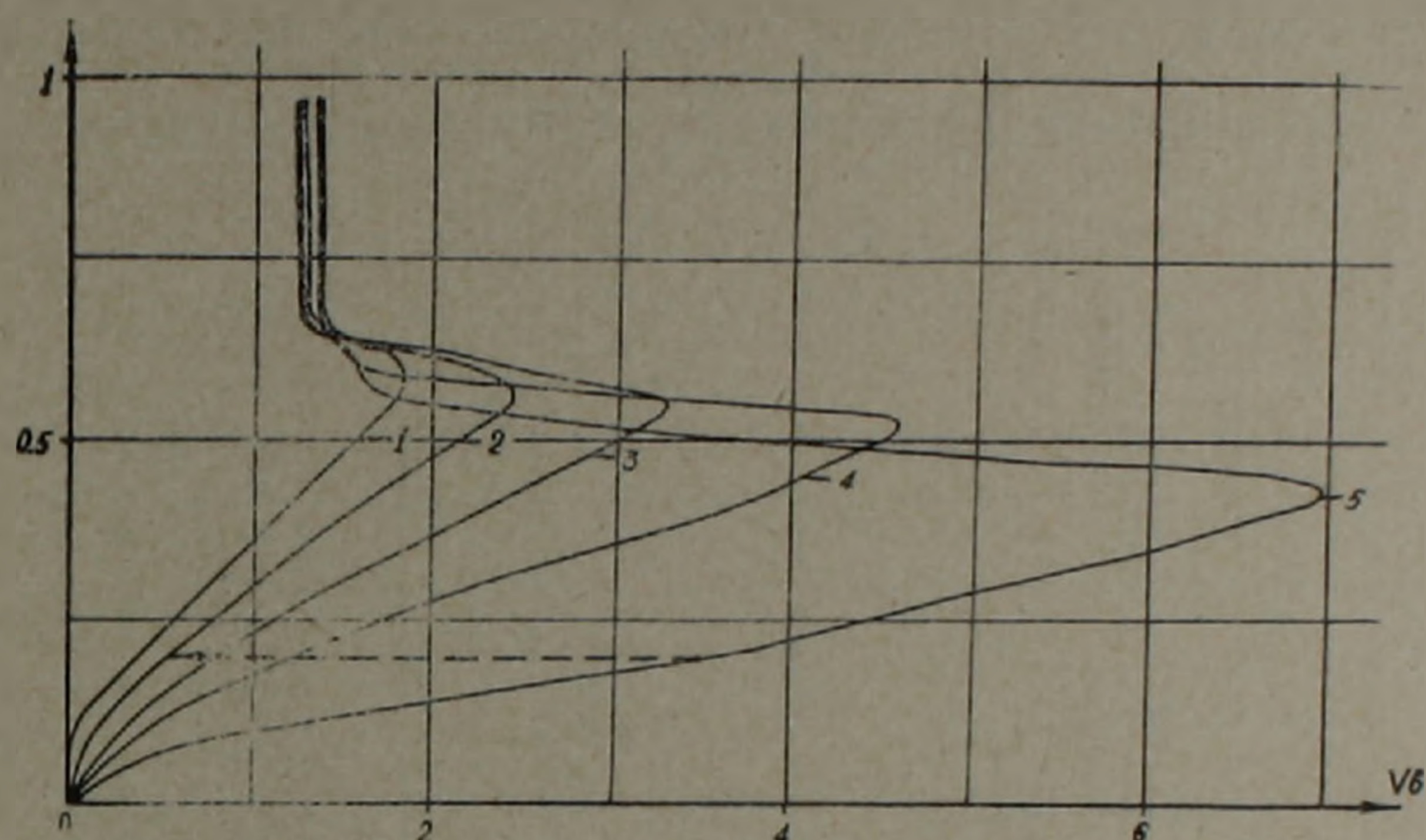


Рис. 1. Семейство ВАХ диода, снятое при различных интенсивностях излучения светодиода (1—5 соответственно токи, проходящие через светодиод в мА : 7, 5, 3, 1, 0)

токи, но остаточные напряжения остаются постоянными вплоть до азотных температур. Начиная с температур $0^\circ \pm 20^\circ\text{C}$ появляется ярко выраженный гистерезис на прямой ветви ВАХ (остаточный ток при обратном ходе меньше, чем ток срыва при прямом). Остаточный ток при прямом ходе около 30 мА , а при обратном 3 мА . Наличие гистерезиса и участка вертикали на ВАХ диодов свидетельствует о возникновении (в данном случае под действием света и температуры) шнурования тока (³⁻⁵).

С понижением температуры участок сублинейности на ВАХ становится более протяженным и пологим. Начиная с -150°C до температуры жидкого азота, под действием монохроматического излучения светодиодов (интервал токов, проходящих через светодиод $0,25 \div 0,32 \text{ мА}$) на прямой ветви ВАХ до срыва появляется большой участок насыщения (рис. 2, кривая 4) и N-образной проводимости (кривые 3,2). При пропускании через светодиоды больших токов (рис. 2, кривая 1) участок N-образности исчезает и ВАХ принимает вид, показанный на рис. 1. С приближением к температуре жидкого азота участок N-образного отрицательного сопротивления становится протяженнее, глубже по токам и начинается с подачи меньшего смещения на светодиод. Отрицательная проводимость может простираться по напряжению до $200 \div 250 \text{ В}$, а по токам $-4 \div -4,5 \text{ мА}$.

На участке N-образности наблюдаются низкочастотные периодические колебания с частотой порядка нескольких килогерц. В связи с пологостью ВАХ после N-образного участка не исключено, что в дан-

ном случае имеет место формирование рекомбинационных доменов в базе диода (⁵⁻⁷), движение которых к противоположному от места зарождения электроду, ответственно за эти колебания. Мощность излучения светодиода пропорциональна квадрату тока, проходящего через него (до 10 ма) (⁸), а так как известно, что при токе 10 ма и напряжении 1,2 в мощность $\approx 0,2$ мвт, можно оценить интегральную чувствительность, которая при температуре жидкого азота порядка $10^4 \frac{a}{вт}$. При комнатной температуре интегральная чувствительность $\sim 10 \frac{a}{вт}$.

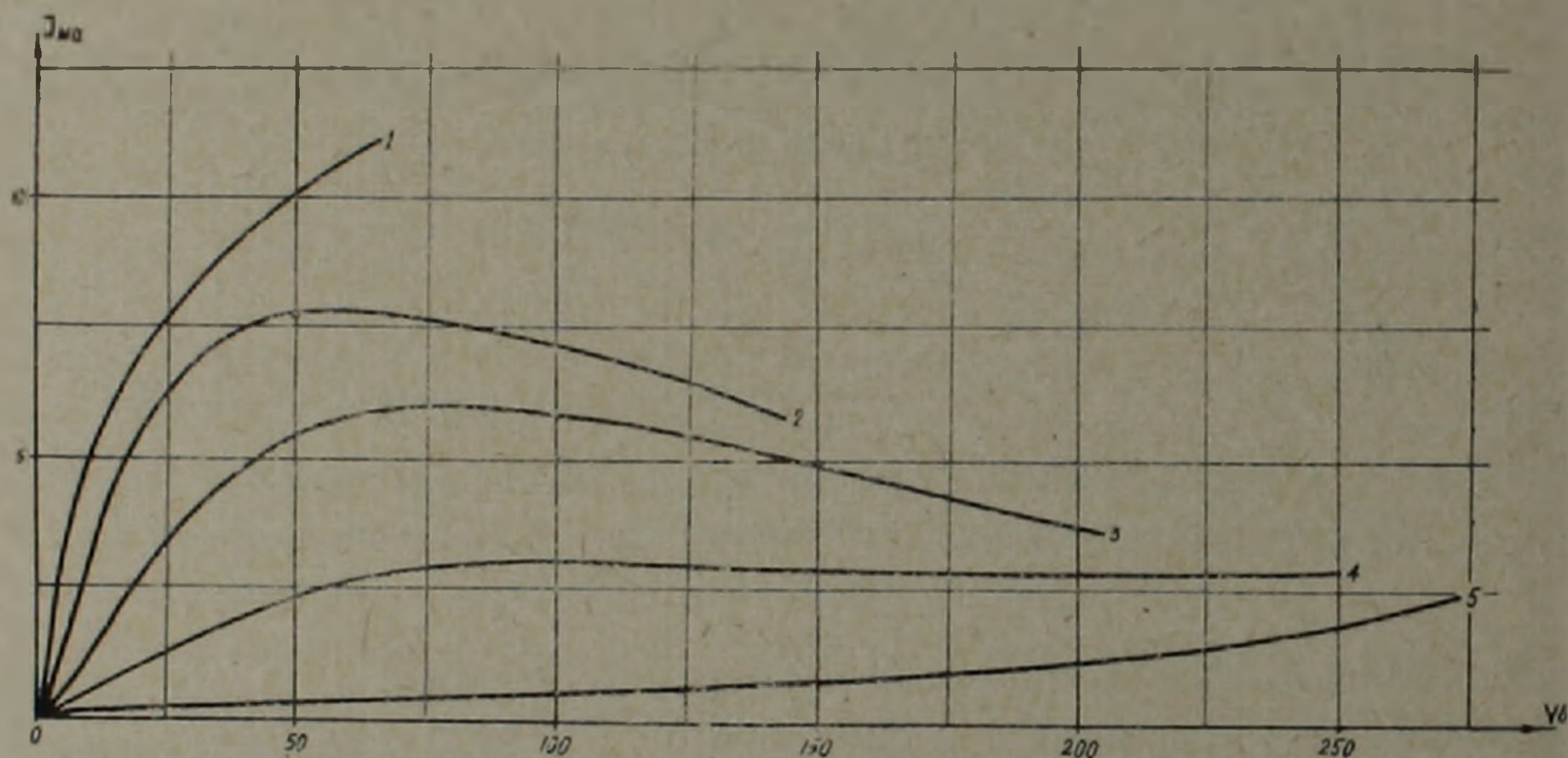


Рис. 2. Семейство ВАХ диода до срыва, снятое при температуре жидкого азота под действием излучения светодиода. 1—5 токи, проходящие через светодиод (ма): 1—0,35; 2—0,32; 3—0,29; 4—0,26; 5—0

Достаточно большое изменение сопротивления под действием света наблюдалось при подаче обратного смещения на диод. С понижением температуры наблюдается картина обратная той, которая имеет место при прямом смещении—обратно смещенный диод становится менее чувствительным к свету.

В режиме генератора тока практически с любой точки темновой ВАХ до срыва можно совершить переключение светом на соответствующий участок световой характеристики (указано на рис. 1 стрелками).

Из этого состояния при подаче дополнительного смещения на диод можно перевести его на вертикальный участок. Таким образом, полный срыв или полное включение диода может происходить в два этапа. Аналогичное явление имеет место и в (⁹). Вместе с тем выбором напряжения питания и величины нагрузочного сопротивления можно добиться переключения светом сразу на участок вертикали. В отличие от многих приборов, у которых возможно переключение из состояния с низкой проводимостью в состояние с высокой проводимостью с помо-

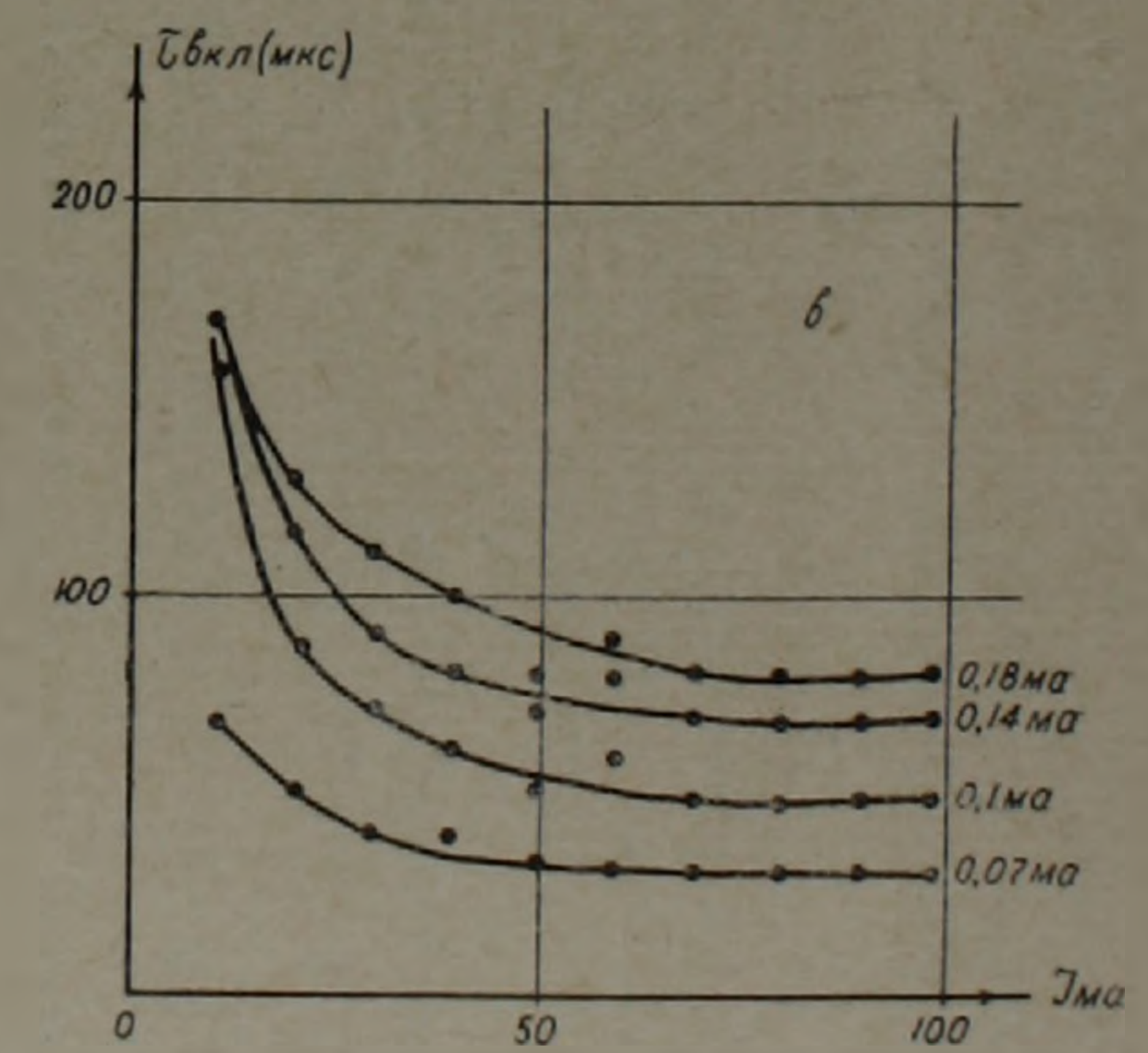
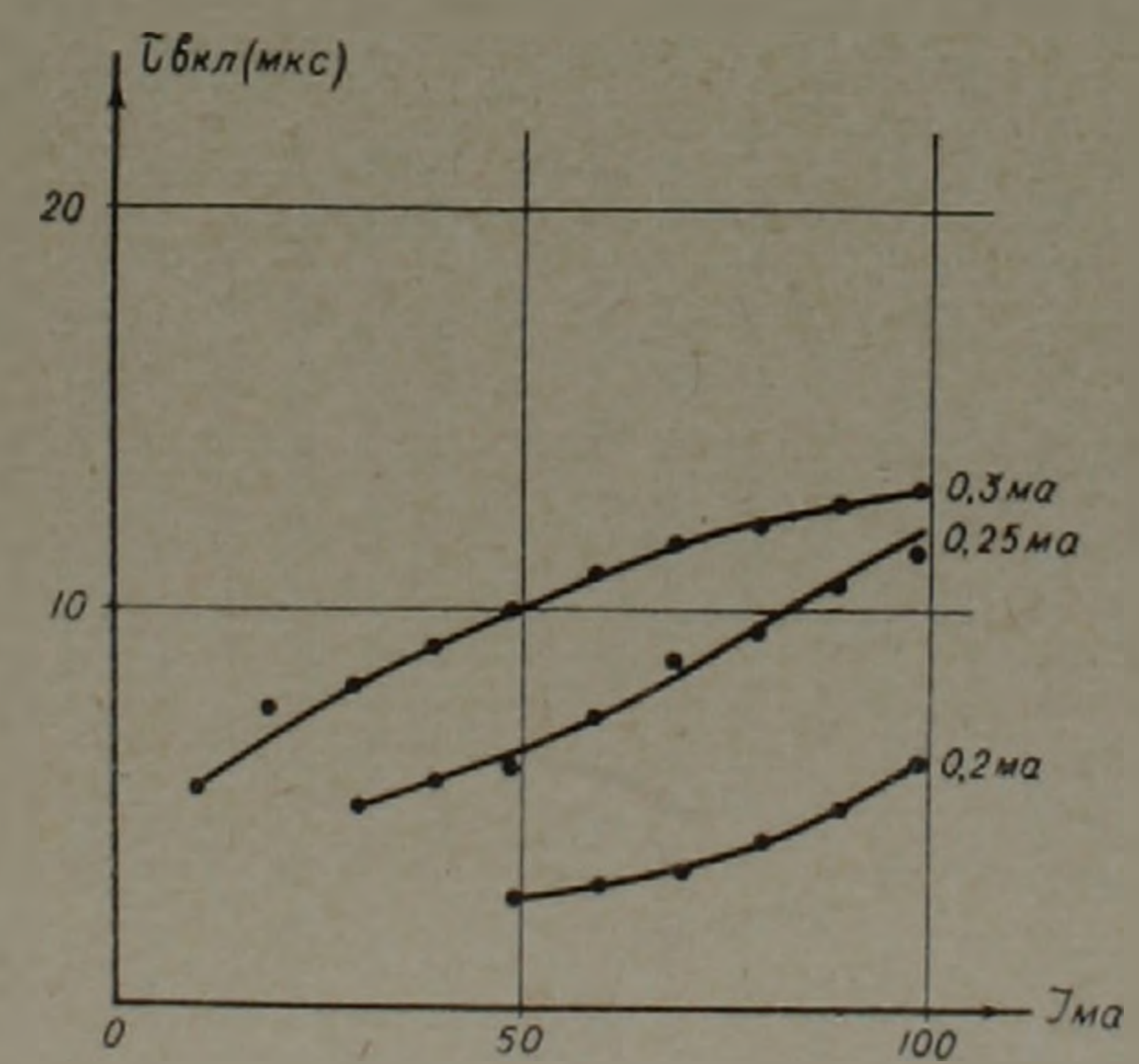
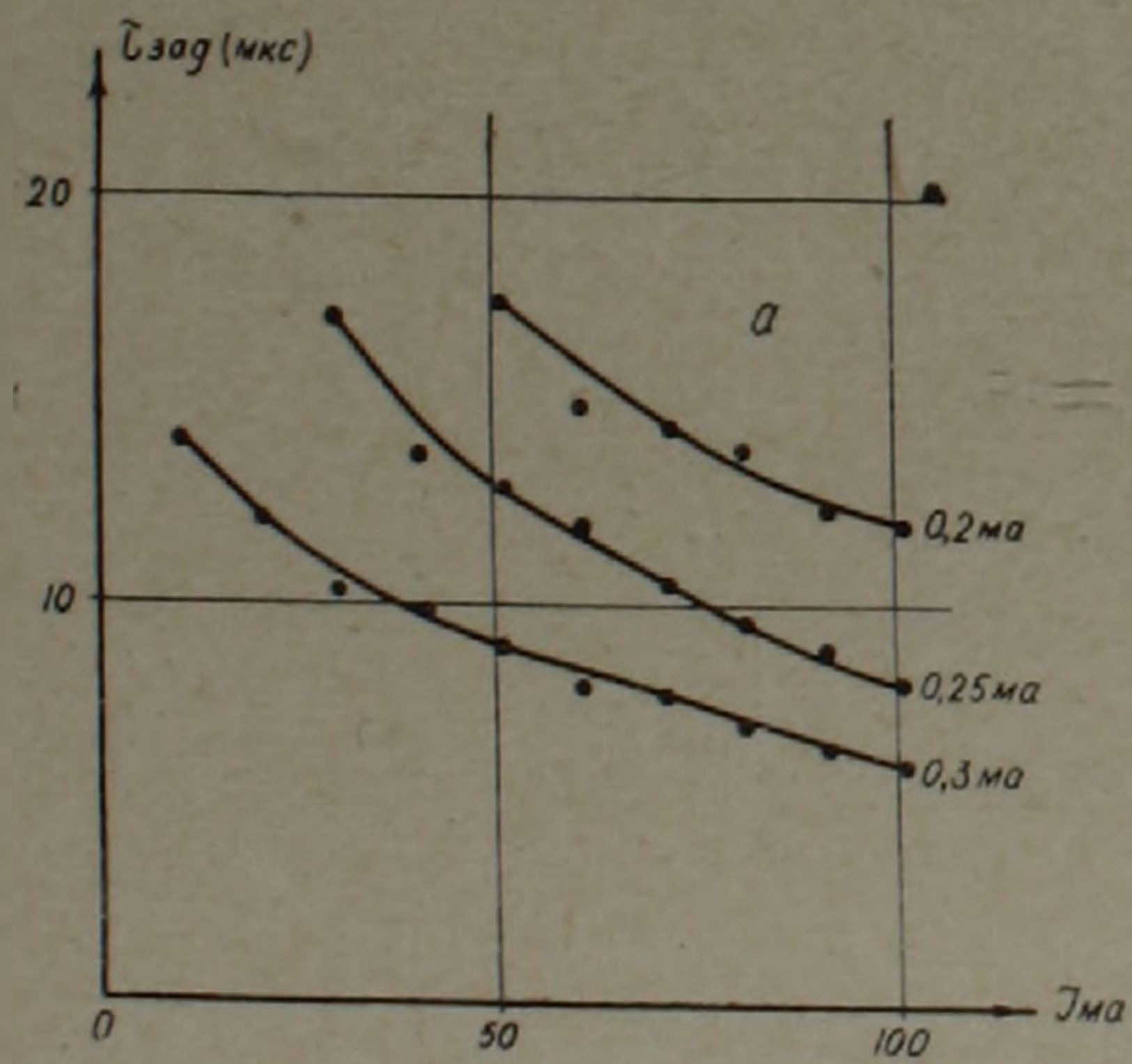


Рис. 3. Зависимость времени задержки (а) и включения (б), (в) от тока через светодиод при различных смещениях на диоде

щью света, а обратное переключение, как правило, осуществляется путем изменения напряжения питания, в полученных нами диодных структурах как включение, так и выключение можно обеспечить одним световым сигналом.

Переходные характеристики изучались при облучении приборов импульсами света. Источником излучения являлся светодиод из арсенида галлия, легированного кремнием. Быстродействие таких светодиодов $10^{-8} - 10^{-9}$ сек. Эксперименты показали, что увеличение амплитуды питающего светодиод импульса напряжения влияет на временные характеристики также как и увеличение длительности импульса, т. е. в данном случае играет роль количество вносимого в базу заряда.

Для определенности постоянной оставалась длительность световых импульсов, равная 20 мксек.

Между началом светового сигнала и началом включения, как и при воздействии электрических сигналов, существует задержка. Перепад по току при переключении достигает трех-четырех порядков. На рис. 3,а показаны зависимости изменения времени запаздывания включения (время задержки), отсчитываемого с момента подачи светового сигнала, от тока, протекающего через светодиод. Эти кривые сняты при подаче на диод смещения в виде электрических импульсов. Время задержки монотонно уменьшается с увеличением тока смещения и интенсивности света. Время включения (время перехода из высокоомного состояния в низкоомное), наоборот, с ростом тока смещения и мощности излучения растет (рис. 3,б). При большом нагрузочном сопротивлении (150—200 ком) подачей импульсов света осуществляется переброс на ВАХ до срыва, снятой при включенном свете той же интенсивности, что и амплитуда подаваемых световых сигналов (вышеуказанный первый срыв, изображенный на рис. 1). Времена включения в данном случае измерялись при подаче постоянного напряжения на диод и импульсного на светодиод. Эти времена растут с увеличением смещения на диод (рис. 3,в).

Время восстановления измерялось путем сближения импульсов тока к импульсам света до момента, когда наблюдалось переключение. Расстояние между задним фронтом импульса света и передним фронтом импульса тока принималось за время восстановления. Это время почти линейно росло с увеличением интенсивности света и доходило до сотен мксек. Наименьшее время восстановления, которое наблюдалось на полученных нами образцах, было около 50 мксек.

Результаты данной работы доложены на совещании по глубоким уровням в Одессе (ноябрь 1972 года).

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность А. В. Емельянову за любезно предоставленные светодиоды и Л. Б. Арамяну за помощь при изготовлении диодов.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Армянской ССР

Յինկի խառնուրդով սիլիցիումային երկէլեկտրոդների հետազոտություններ
որպես օպտրոնային զույգի բաղադրիչներ

Հետազոտված է մոնոխրոմատիկ լույսի ազդեցությունն երկէլեկտրոդների փոխամպերային բնութագծի վրա $77-373^\circ$ ջերմաստիճանային տիրույթում: Հայտնաբերված են երկէլեկտրոդների մեծ զգայնություն դեպի լույսը, որը հեղուկ ազոտի ջերմաստիճանում հասնում է մինչև $10^4 \frac{\omega}{\text{վտ}}$ N-տիպի հաղորդականության տիրույթ: Ցույց է տրված S-երկէլեկտրոդ լուսատու-երկէլեկտրոդ օպտրոնային զույգի ստեղծման հնարավորությունը: Լույսով երկէլեկտրոդների միացնելու ժամանակները միկրովարկյանների կարգի են:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Կ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ ՈՒ Ն

- ¹ С. В. Свечников, Основы оптоэлектроники, Изд. Сов. радио, М., 1971. ² Г. М. Авикумянц, З. Н. Адамян, Р. С. Барсегян, С. В. Оганесян, С. А. Тарумян, ДАН Арм. ССР, т. 52, 2, 76 (1971). ³ А. Ф. Волков, Ш. М. Когин, УФН, т. 96, 4, 633 (1968). ⁴ В. В. Осипов, В. А. Холоднов, ФТП, т. 4, 7, 1216 (1970). ⁵ В. Л. Бонч-Бруевич, И. П. Звягин, А. Г. Миронов, Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках, изд. «Наука», М., 1972. ⁶ Б. В. Корнилов, В сб. Физика электронно-дырочных переходов и полупроводниковых приборов, Изд. «Наука», Л., 319, 1963. ⁷ Труды симпозиума по физике плазмы и электрическим неустойчивостям в твердых телах под ред. Ю. К. Пожела изд. «Минтис», Вильнюс, 1972. ⁸ Ж. И. Алфёров, В. И. Корольков, М. И. Степанова, В. Г. Никитин, Д. Н. Третьяков, А. А. Яковенко, ФТП, т. 5, 3, 576 (1971). ⁹ Б. М. Гарин, В. И. Стафеев, ФТП, т. 6, 1, 78, 1972.