

УДК 621.382.2

ФИЗИКА

Член-корреспондент АН Армянской ССР Г. М. Авакьян,
С. Г. ДолмазянНекоторые свойства шнура тока в S-диодах из
p-кремния с примесью серебра

(Представлено 8/V 1974)

Известно, что в базе полупроводниковых S-приборов в статистическом режиме при большом нагрузочном сопротивлении наблюдается неоднородное распределение плотности тока (¹⁻⁴). С явлением шнурования тока в базе приборов связаны некоторые особенности вольт-амперных характеристик (ВАХ). В частности, на ВАХ после участка ОДС наблюдается вертикаль (независимость тока от напряжения), а также гистерезис (^{2,5-8}). Известно также, что размеры шнура зависят от величины тока, протекающего через прибор. При увеличении тока шнур расширяется, а с уменьшением — сужается, и при критических токах ($I_{\text{шн}}$) шнур распадается (^{1,6-7}). В этом случае на ВАХ наблюдается скачкообразное увеличение напряжения. Происходит переключение с левой ветви гистерезиса на правую. Исследуемые в настоящей работе S-диоды в этот момент переходят из низкоомного (открытого) состояния в высокоомное (закрытое), поскольку гистерезис здесь наблюдается при обратном ходе прямой ветви ВАХ.

В предлагаемой работе изучались возможности возникновения гистерезиса под действием светового возбуждения, а также исследовались зависимости критического тока $I_{\text{шн}}$ от освещенности и температуры.

По сплавной технологии были изготовлены p-n-n структуры (¹¹) из n-кремния ($\rho_{\text{нч}} \sim 40 \text{ ом см}$), компенсированного серебром. Диффузия (¹¹) серебра в кремний проводилась при температуре 1300°C — 1350°C. Изготовленные диоды на прямой ветви ВАХ имели участок ОДС. Kontakтами служили: алюминий — p⁺, и золото с примесью сурьмы (0,1%) — n⁺.

Ряд диодов, условно обозначенных как первая партия, при обратном ходе прямой ветви имели на ВАХ гистерезис, а другие диоды (вторая партия) гистерезиса не имели. Отметим, что у приборов обеих партий после участка ОДС на ВАХ наблюдалась вертикаль.

Исследования проводились в широком диапазоне температур от —90°C до +50°C (для диодов первой партии), а освещенность (E) изменялась от 0 до 290 лк.

Диоды второй партии исследовались при комнатной температуре, освещенность в этом случае изменялась от 0 до $2 \cdot 10^3$ лк. Освещение диодов первой партии удалось осуществить только со стороны p^+ — электрода, через стеклянное окно стандартного корпуса. Приборы второй партии освещались, как со стороны p^+ , так и n^+ контактов.

Источником света служила лампа накаливания, изменение освещенности проводилось диафрагмированием пучка света. Величины освещенностей измерялись люксметром Ю-16.

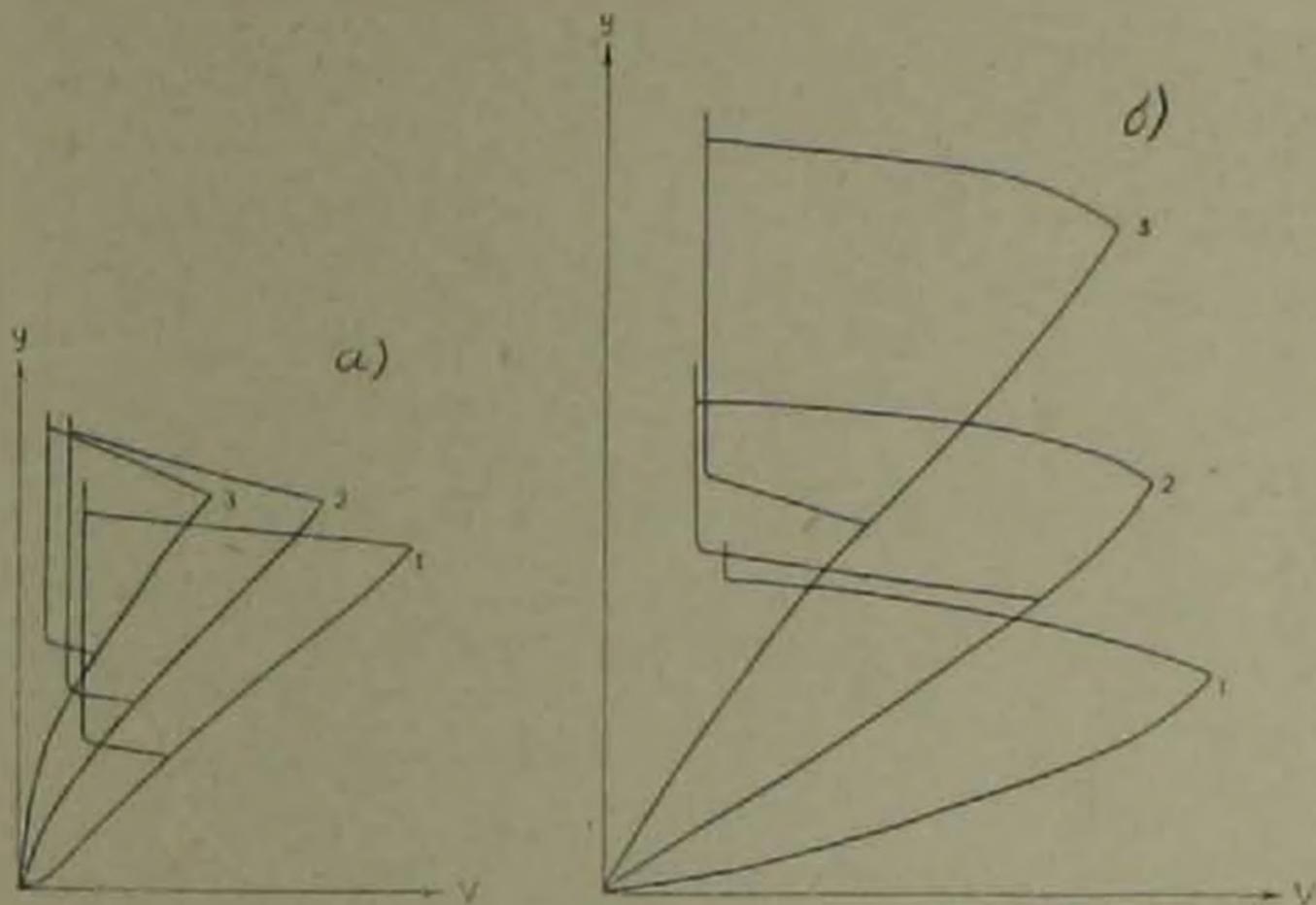


Рис. 1.

а — ВАХ диода с гистерезисом в темноте (1) и при разных уровнях освещенности;
б — ВАХ диода без гистерезиса в темноте (1) и при разных уровнях освещенности

Как отмечалось выше, диоды второй партии при обратном ходе прямой ветви ВАХ не имели гистерезиса. Однако под действием светового потока у этих приборов возникает гистерезис (рис. 1, б). Гистерезис на этих приборах наблюдался при всех реализуемых на опыте величинах освещенности. Следует отметить, что величина $I_{пор}$ определяется значением освещенности E (рис. 2, а, кривые 1 и 2).

В случае, когда освещение осуществляется со стороны n^+ контакта, величина $I_{пор}$ резко возрастает с увеличением E (рис. 2, а, кривая 1) до освещенностей порядка 1000 лк, а при $E > 1000$ лк, значение $I_{пор}$ увеличивается слабее. Если же свет падает со стороны p^+ контакта, то величина $I_{пор}$ монотонно возрастает с увеличением E (рис. 2, а, кривая 2). Необходимо подчеркнуть, что величина $I_{пор}$ для этих приборов, больше тока срыва ($I_{ср}$) без освещения (рис. 1, б).

Рис. 2, а (кривые 3 и 4) иллюстрирует поведение токов срыва в зависимости от величины E . В литературе (^{12,13}) описаны случаи когда $I_{ср}$ возрастает с увеличением E . Но это увеличение $I_{ср}$ зависит от способа освещения. В случае освещения со стороны p^+ — контакта — $I_{ср}$ возрастает монотонно, в то время когда свет падает со сто-

роны n^+ электрода, поведение тока срыва более сложно. Здесь можно выделить две области, в первой до 500 лк I_{cp} резко возрастает, а во второй — при $E > 500 \text{ лк}$ наблюдается слабое уменьшение I_{cp} от E .

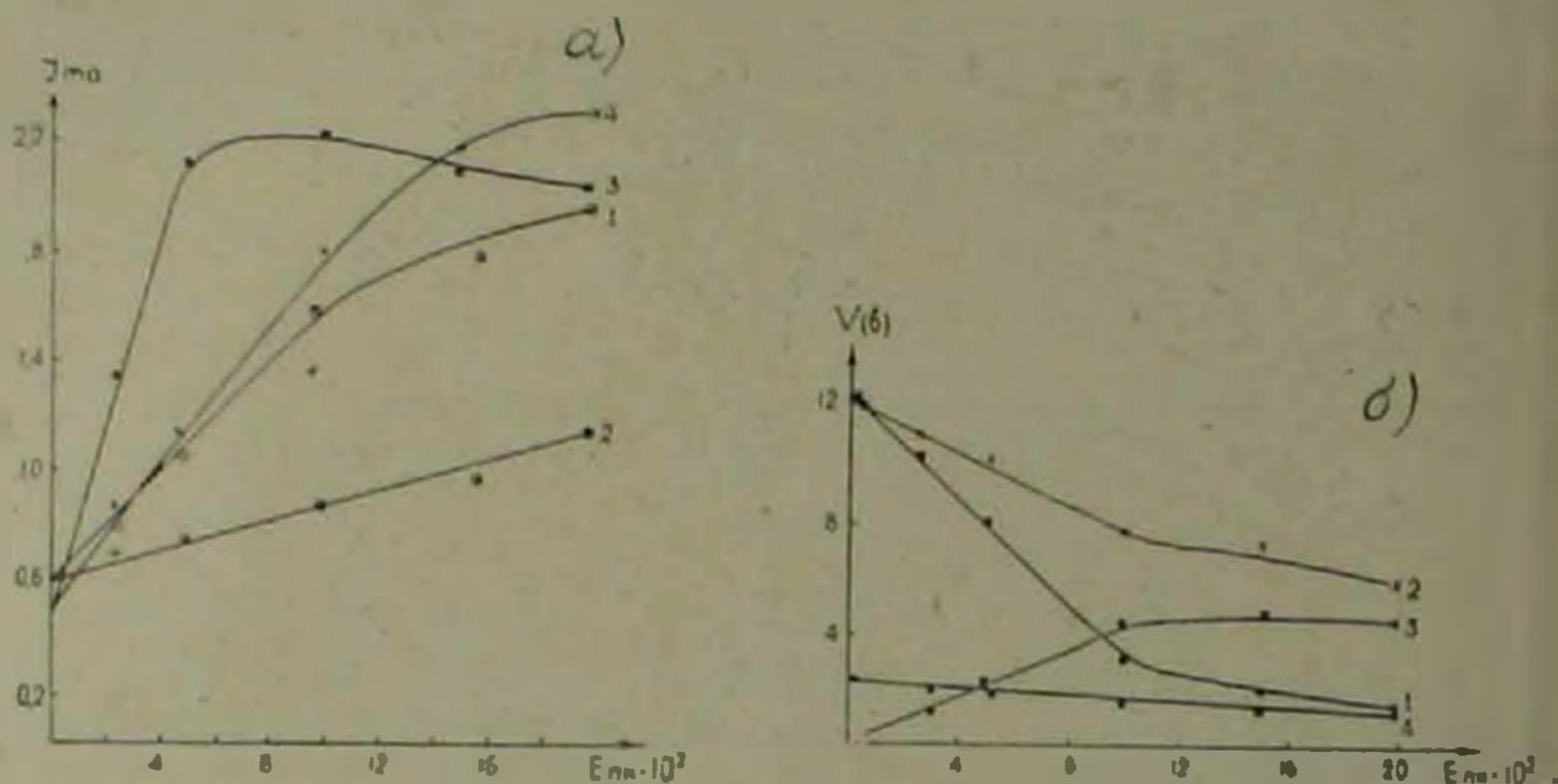


Рис. 2. а — зависимость $I_{пор}$ и I_{cp} от E . 1 и 3 — для анодов без гистерезиса в темноте при освещении со стороны n^+ электрода; 2 и 4 — то же при освещении со стороны p^+ .

б — зависимость V_{cp} от E . 1 — для освещения со стороны n^+ ; 2 — для p^+ ; 3 — $\Delta V = V_{cp p^+} - V_{cp n^+}$.

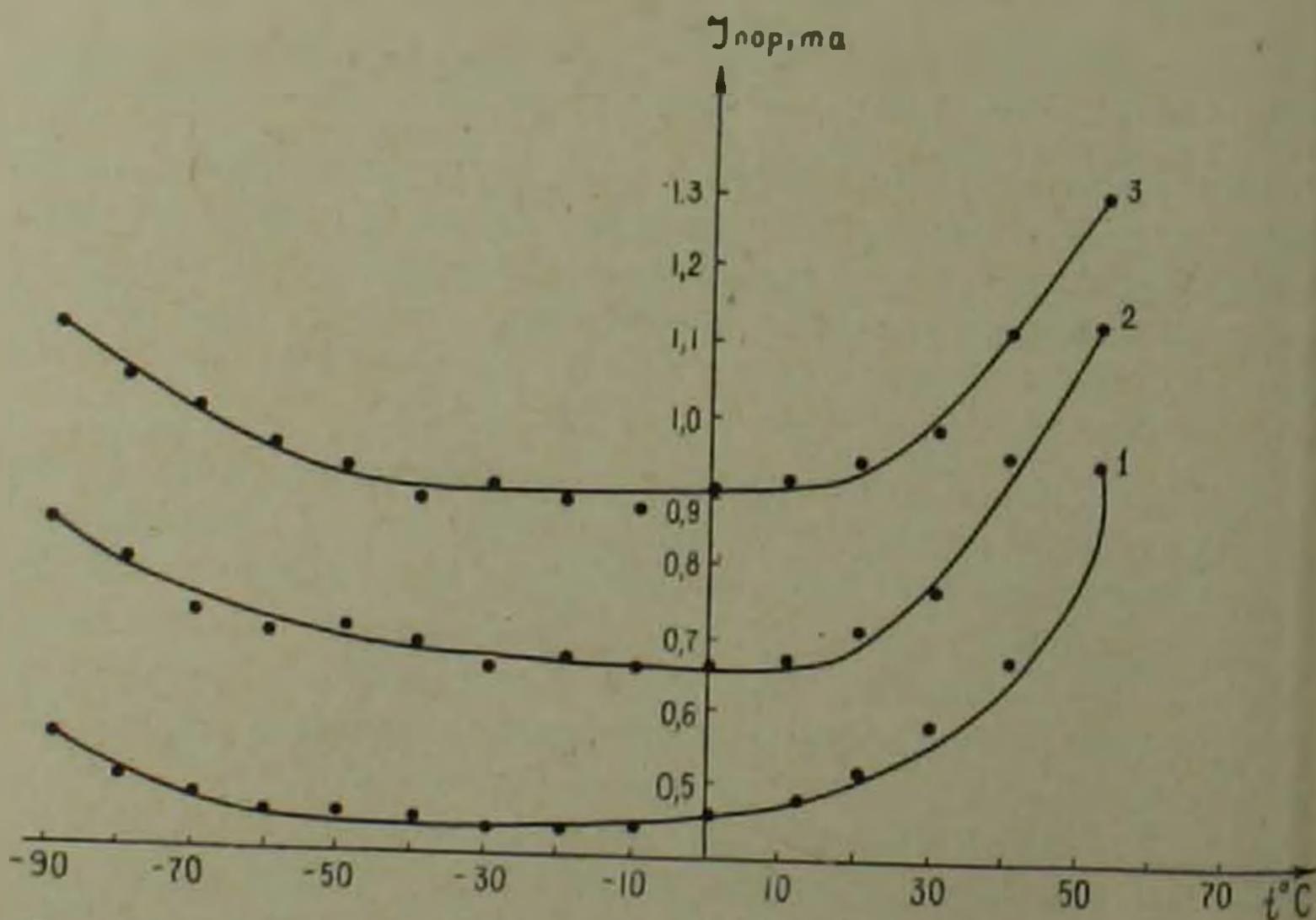


Рис. 3. Температурная зависимость I_{cp} от E . 1 — $E = 230 \text{ лк}$, 2 — $E = 130 \text{ лк}$, 3 — $E = 10 \text{ лк}$.

Исследования диодов первой партии показали, что величина $I_{пор}$ зависит, как от температуры, так и от величины освещенности (рис. 3). В частности, было выявлено, что в области температур от $+10^\circ\text{C}$ до -90°C величина $I_{пор}$ слабо изменяется, тогда как при нагревании диодов $I_{пор}$ возрастает (рис. 3, кривая 1). С увеличением уровня освещенности $I_{пор}$ возрастает во всем температурном диапазоне по сравнению с величиной $I_{пор}$ взятой при $E = 0$.

Переключение с левой ветви на правую ветвь гистерезиса происходит по нагрузочной кривой. Напряжения, при которых происходят переключения $V_{ост}$, слабо зависят от E (уменьшение $V_{ост}$ порядка $1 \div 1,5$ в). В работах (12-14) авторы указывают на уменьшение величины $V_{ср}$ в зависимости от E . В случае исследуемых нами диодов $V_{ср}$ также убывает с ростом E (рис. 2, б). Однако уменьшение $V_{ср}$ для реализуемых способов освещения, происходит по-разному. При освещении со стороны n контакта (рис. 2, б кривая 1) величина $V_{ср}$ меньше, чем в случае освещения со стороны p контакта (рис. 2, б, кривая 2) при фиксированных значениях E (рис. 2, б, кривая 3). Это различие в величинах $V_{ср}$ наблюдается во всем диапазоне изменения освещенности.

Однако действие светового возбуждения проявляется не только в появлении гистерезиса на ВАХ, но и на закономерностях ВАХ. Необходимо отметить, что на ВАХ появляется участок с сублинейной зависимостью. ВАХ укладывается в закономерность вида $I = AV^n$, где $n > 1$ (1; 1,5; 2) на всей ВАХ без освещения. Однако под действием света на ВАХ появляется участок, где $n \approx 0,5$. Этому участку предшествует участок с $n = 1$ (9). С увеличением тока через диод сублинейная зависимость сменяется суперлинейной для диодов первой партии.

Для диодов II партии различие в способе освещения приводит к тому, что при освещении со стороны n контакта сублинейность на ВАХ наблюдается при малых величинах освещенности (до 500 лк), с увеличением E сублинейность сменяется линейной, или близкой к ней зависимостью, а n принимает значение $n = 1; 1, 2$, на всей ВАХ. При освещении же со стороны p сублинейность на ВАХ наблюдается при всех величинах E , реализуемых в нашем случае.

Шиур тока, т. е. физический канал тока внутри толщи n/p имеет свои минимальные размеры. Они носят название удвоенной ширины стенки шнура (16). Когда удвоенная ширина стенки превосходит ширину технологического канала (который обусловлен особенностями структуры базы—ее неоднородном легированием и компенсированием, дефектами, дислокациями, размерами тылового контакта и т. д. (17)), то шнур естественно не возникает. Однако ширина стенки также, как и диффузионная длина неосновных носителей, как мы считаем, может меняться с током. Как показано в (16) ширина стенки экспоненциально убывает с ростом диффузионной длины и уменьшением толщины высокоомной базы приборов. Следовательно, при изменении этой длины с током, в частности, при ее увеличении мы должны ожидать резкое уменьшение ширины стенки. Попытаемся по-

нять с этой точки зрения некоторые наши экспериментальные данные. Во-первых, исходя из вышесказанного можно понять почему у одних диодов нет гистерезиса, но есть вертикаль, а у других есть и гистерезис и вертикаль. Мы, естественно предполагаем, что в наших диодах имеет место шнурование тока. Тогда если есть и вертикаль и гистерезис, то это значит, что ширина технологического канала всегда больше удвоенной толщины стенки шнура. Это значит, что все свойства шнура могут себя проявить при этом, в том числе и гистерезис, который наблюдается при достаточно малых токах (меньше тока срыва). Иное следует ожидать, если при малых токах (меньших тока срыва) удвоенная ширина стенки шнура больше ширины технологического канала. Тогда при этих токах по существу нет шнура, а поэтому мы и не наблюдаем гистерезисных явлений.

Но поскольку мы приняли, что ширина стенки шнура зависит от тока, а именно, резко уменьшается с ростом тока, то возникновение шнура тока на участке отрицательного сопротивления все же возможно и начинается именно с той точки ОДС, где уже ширина стенки (в связи с ростом тока) становится меньше ширины технологического канала. Эта точка не обязательно находится вблизи тока срыва, а может быть на конечном расстоянии от нее. Таким образом к моменту перехода диода по характеристике в точку $I_{отс}$ может сформироваться достаточно узкий шнур, ширина которого (будучи уже заметно меньше технологического канала) будет возрастать с ростом полного тока, что проявляется в наличии вертикали на ВАХ.

Предлагаемая модель не исключает, а скорее всего допускает появление гистерезисных явлений и в этом случае, но при токах больших тока срыва.

Обратимся теперь к случаю формирования шнура и гистерезиса в условиях освещения. При освещении происходит частичная раскомпенсация материала, при этом диффузионная длина может возрасти так что и при малых токах (меньших тока срыва) ширина стенки шнура станет меньше ширины технологического канала. В то же время сам ток срыва зависит от освещенности и возможны такие ситуации, когда токи при которых возникает шнур будут ниже нового тока срыва, но выше его старого значения. В этих условиях так же возможно возникновение гистерезисных явлений при токах, меньших как нового, так и старого, в принципе. У_{ср}.

Исходя из полученных экспериментальных данных и тех теоретических представлений, которые развиты в (8¹¹) можно предположить, что отсутствие гистерезиса при обратном ходе прямой ветви ВАХ не означает того, что в базе приборов не происходит шнурование тока. В пользу этого предположения свидетельствуют изложенные выше представления, которые вытекают из работ (8^{13,15}).

Сравнивая поведение $I_{пор}$ в нашем случае с результатами работ (14¹⁵) можно отметить, что в них величина $I_{пор}$ также изменяется в зависимости от величины и ориентации магнитного поля. В частности, авторы (16) наблюдали уменьшение величины в продольном магнитном

поле. Авторы (¹⁷) описывают деформацию шнура тока под действием светового излучения.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Л. Б. Арамяну за помощь в изготовлении диодов.

Институт радиофизики и электроники Армянской ССР

Հայկական ԽՍՀ ԳԱ ԲԿՐԱՎԻԳ ԱՆՊԱՐ Գ. Բ. ԱՂԱԿՅԱՆԻ, Ս. Գ. ԳՈՂՄԱԶՅԱՆԻ

Արձարով միախառնված n-սիլիցիումային S-երկէլեկտրոդներում հոսանքի թելի մի Լանի հատկություններ

Հետազոտված են շեմային հոսանքի կախվածությունները (այսինքն այն հոսանքի, որի դեպքում հոսանքի թելը քայքայվում է) յուսափորվածությունից և ջերմաստիճանից, ինչպես նաև ուսումնասիրված են լույսի ազդեցությամբ հիստերեզիսի առաջացման հնարավորությունները: Տրվում է երկէլեկտրոդային սարքերում հոսանքի թելի առաջացման որակական բացատրությունը, որոնց բնութագծերում հիստերեզիս չի դիտվում:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Ն Ի Ն Ի Բ Յ Ո Ւ Ն

- ¹ I. Melngailis, A. G. Milnes, J. Appl. Phys. 33, 995, 1962. ² Н. В. Варламов, Н. А. Сондаевская, В. П. Сондаевский, В. И. Стафеев, Тезисы докладов на III Всесоюзном совещании по физич. явлениям в р-п переходах, Тбилиси, 1966. ³ A. M. Burnett, A. G. Milnes, J. Appl. Phys. 37, 4215, 1966. ⁴ Г. И. Березин, А. И. Романец, В. П. Сондаевский, В. В. Уздовский, ФТП 7, 4, 738, 1973. ⁵ T. Fujita, K. Nottmairan, J. Appl. Phys. 2, 535, 1963. ⁶ А. В. Вэков, Ш. М. Хоган, УФН, 934, 631, 1968. ⁷ Н. В. Варламов, В. В. Осипов, ФТП, 7, 950, 1969. ⁸ В. В. Осипов, В. А. Холоднов, ФТП, 4, 7, 1216, 1970. ⁹ Г. М. Авакьянц, Д. Г. Долмэзян, Э. А. Хазарджян, Тезисы одесского совещания по глубоким центрам и п.п. 6, Одесса, 1972. ¹⁰ А. А. Лебедев, А. Г. Мамадалимов, Ш. Махкамов, ФТП, 6, 11, 2198, (1972). ¹¹ Б. М. Болтакс, Сюн-Шин-Инь, ФТТ, 2, 11, 2682 (1960). ¹² В. И. Стафеев, ФТТ, 5, 11, 3055 (1963). ¹³ А. А. Лебедев, А. Т. Мамадалимов, А. И. Султанов, ФТП, 5, 1, 22 (1971). ¹⁴ В. В. Осипов, В. А. Холоднов, ФТП, 7, 5, 886 (1973). ¹⁵ Г. М. Авакьянц, А. А. Степанов, Р. С. Барсегян, С. П. Мовчан, ДАН Арм. ССР, 11, 5, 257 (1971). ¹⁶ Н. В. Варламов, Э. А. Полторацкий, В. П. Сондаевский, ФТП, 3, 365 (1969). ¹⁷ М. Е. Алексеев, Н. В. Варламов, Э. А. Полторацкий, В. П. Сондаевский, ФТП, 12, 1787 (1969).