

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СВЕТОВОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ КРЕМНИЕВЫХ S-ФОТОПРИЕМНИКОВ, КОМПЕНСИРОВАННЫХ НИКЕЛЕМ

В. М. АРУТЮНЯН, В. Ш. МАНУКЯН, Ж. Р. ПАНОСЯН

Изучение физических явлений, приводящих к эффекту переключения, имеет первостепенное значение для создания новых классов приборов, используемых в различных отраслях науки и техники. В частности, переключение структуры при световом возбуждении может найти широкое применение как в когерентной, так и в некогерентной оптоэлектронике. В литературе известны работы, посвященные эффекту переключения в диодных структурах на основе компенсированных полупроводников (см., например, [1—3]).

В настоящей работе исследованы особенности переключения в диодных p^+-n-n^+ -структурах, изготовленных на основе кремния, компенсированного никелем [3, 4]. Указанные структуры имеют на прямой ветви вольт-амперной характеристики (ВАХ) участок отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС) S-типа. Такие структуры чувствительны к излучению, и поэтому в литературе их часто называют S-фотоприемниками (S-ФП). Ниже рассматриваются некоторые особенности спектральной зависимости переключения в S-ФП с $Si < Ni >$ в области основного участка ОДС на ВАХ. К S-ФП прикладывалось постоянное смещение в пропускном направлении, близкое к напряжению срыва ($\frac{V_p}{V_{cp}} \rightarrow 1$), затем включалось монохроматическое освещение с энергией фотонов $h\nu_1$, где $E_g \leq h\nu_1 < h\nu_2$.

Под действием освещения S-ФП из стабильного низкопроводящего состояния переключается в стабильное высокопроводящее состояние (прямое переключение). После снятия освещения S-ФП остается в этом состоянии длительное время, измеряемое часами, в отличие от работы [3], где приводятся результаты исследования влияния излучения светодиода из GaAs на переключение из низкопроводящего состояния в высокопроводящее. Отметим, что изученные нами объекты отличаются от исследованных в работе [3] подобных структур также тем, что в нашем случае обратное переключение осуществляется при возбуждении светом $h\nu_2 > E_g$ ($h\nu_2 > h\nu_1$), тогда как в работе [3] обратное переключение выполняется путем снятия светового возбуждения.

Чтобы исключить влияние различия в интенсивностях монохроматического освещения при спектральном разложении света S-ФП освещались светом из более длинноволновой области. При этом регистрировалась одна и та же величина фототока в вентильном режиме. Обратное переключение при таких длинах волн λ (длинные волны) не наблюдалось, что свидетельствует о спектральной зависимости эффекта переключения. Таким обра-

зом, можно предположить, что в исследованных нами S -ФП из $Si < Ni$ при комнатных температурах имеет место фототриггерный эффект (ФТГЭ). При понижении температуры спектральные области ФТГЭ смещаются в сторону коротких волн и эффект исчезает при $T \approx 200$ К. Исследования показали, что кроме температуры на ФТГЭ влияют также интенсивность освещения, спектральный состав света, наклон линии нагрузки на ВАХ и выбор рабочей точки на ВАХ (смещение). Рассмотрим в отдельности влияние этих факторов.

На рис. 1 приведена типичная темновая ВАХ p^+-n-p^+ -диодной структуры. В области ОДС на ВАХ при нагрузках $9 \div 20$ кОм наблюдается значительный участок bb' стабильного состояния структуры и нестабильные участки ab и $b'a$. Протяженность этих участков зависит от выбора R_n . В области ОДС на ВАХ имеется также другой участок az стабильных состояний. На отрезке zd на ВАХ имеется область положительного сопротивления, а выше точки d кривая ВАХ возрастает почти вертикально, что обусловлено, вероятно, шнурованием тока. При $R_n < 9$ кОм вышеуказанная стабильность на участке bb' не наблюдается. Не наблюдается в этом случае и обратное переключение светом (из высокопроводящего состояния в низкопроводящее). При таких R_n имеет место одностороннее переключение, т. е. S -ФП переключается светом из низкопроводящего состояния в высокопроводящее состояние при соответствующих напряжениях смещения, интенсивностях освещения и спектральном составе света.

Однако обратное переключение можно осуществить и при $R_n < 9$ кОм, если одновременно с воздействием света $h\nu_2$ с определенной мощностью

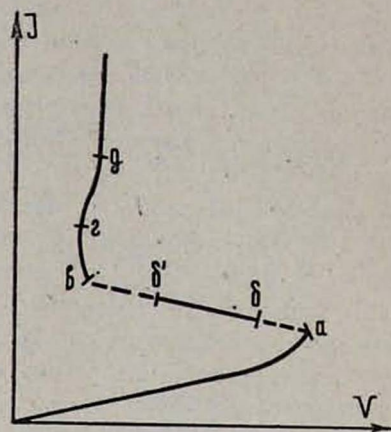


Рис. 1. Типичная ВАХ S -фотоприемника с $Si < Ni$, имеющего ФТГЭ при $T = 300$ К.

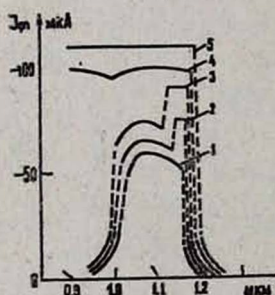


Рис. 2. Спектральная зависимость фототока S -ФП при различных величинах сопротивления нагрузки (при наличии ФТГЭ) R_n (кОм): 1 — 30; 2 — 20; 3 — 10; 4 — 8; 5 — 5.

излучения уменьшить напряжение смещения, т. е. передвинуть рабочую точку на ВАХ ближе к значению $V_{ост}$. Вышеуказанное иллюстрируется на рис. 2, и как видно из этого рисунка, при $R_n < 9$ кОм имеет место од-

ностороннее переключение, которое объясняется тем, что после срыва S -ФП переключается в точку на ВАХ, находящуюся выше области ОДС. При этом наблюдается отрицательная фотопроводимость (ОФП) в коротковолновой (КВ) части спектра. Наблюдаемая ОФП (кривая 4 на рис. 2) недостаточна для перевода структуры в низкопроводящее состояние. С увеличением R_n S -ФП после срыва переключается на участок ВАХ, ближе расположенный к области ОДС. При этом уже реализуется возможность обратного переключения при освещении светом $h\nu_2$, при котором наблюдается ОФП. Отметим, что со смещением рабочей точки на ВАХ к участку ОДС глубина ОФП возрастает. Таким образом, для осуществления ФТГЭ большое значение имеет выбор сопротивления нагрузки.

Для большинства исследованных образцов величина $R_n = 9 \div 20$ кОм является оптимальной, так как прямое и обратное переключения монохроматическим светом с энергиями соответственно $h\nu_1$ и $h\nu_2$ происходят при одном и том же значении напряжения смещения (при фиксированных значениях интенсивности освещения и температуры).

При освещении исследуемых структур монохроматическим светом напряжение и ток срыва, а также остаточные напряжение и ток меняются в зависимости от длин волн, которые выбраны парами таким образом (см. рис. 3), чтобы выявить влияние глубины проникновения света в образец.

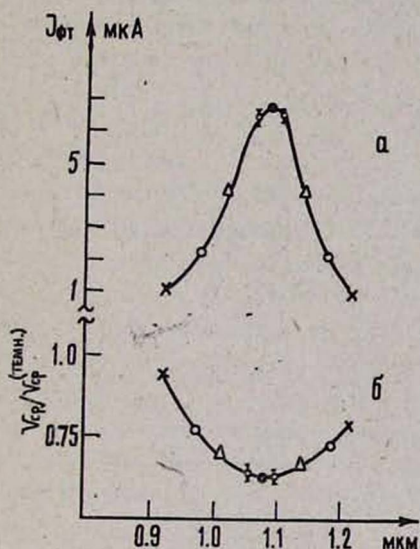


Рис. 3.

Рис. 3. Спектральные зависимости фототока S -ФП в вентильном режиме (а) и напряжения срыва (б). Одинаковым знакам соответствуют пары длин волн.

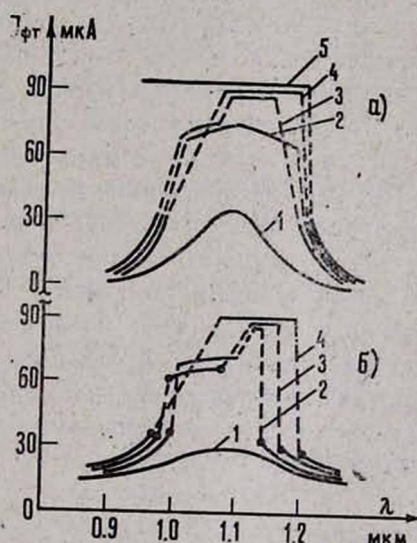


Рис. 4.

Рис. 4. Спектральная зависимость фототока S -ФП при различных напряжениях смещения (а) и интенсивностях освещения (б) при $T = 300$ К, $R_n = 10$ кОм: а) V_p (В): 1—0,5; 2—0,98; 3—1; 4—1,02; 5—1,03; б) I/I_0 (в относительных единицах): 1—0,05; 2—0,5; 3—0,75; 4—1.

В зависимости от глубины проникновения наблюдаются различные значения $V_{ср}$ (рис. 3б). Когда поглощение света имеет место вблизи поверхности (короткие длины волн), наблюдаются сравнительно большие значения $V_{ср}$, несмотря на то, что при работе S -ФП в вентильном режиме

эти пары длин волн создают фототок равной величины (см. рис. 3а). Различие в значениях V_{cp} увеличивается, когда пары длин волн подобраны таким образом, чтобы была большая разница в глубинах проникновения света.

На рис. 4а приведена спектральная зависимость ФТГЭ при различных напряжениях смещения. При малых рабочих напряжениях $V_p^{(1)} < V_{cp}$ наблюдается обычная спектральная зависимость фототока (кривая 1). При $V_p^{(2)} \leq V_{cp}$ на кривой спектральной зависимости фототока имеет место срыв (кривая 2). При возбуждении светом с длиной волны $\lambda = 1,2$ мкм диодная структура переключается в промежуточное состояние на ВАХ (участок бб' на рис. 1). Снятие освещения приводит к тому, что структура переключается в исходное низкопроводящее состояние. При напряжениях смещения $V_p^{(3)}$ ($V_{cp} > V_p^{(3)} > V_p^{(2)}$) освещение приводит к переключению структуры в высокопроводящее состояние, начиная с $\lambda = 1,14$ мкм (кривая 3 на рис. 4а). При снятии освещения, когда структура находилась в высокопроводящем состоянии на ВАХ, S-ФП остается в этом включенном состоянии. Обратное переключение происходит при освещении светом в области $\Delta\lambda = 1-1,06$ мкм. Если диодная структура находилась во включенном состоянии, освещение приводит к тому, что S-ФП переходит в промежуточное состояние. Если при таком положении снять освещение, структура либо перейдет в низкопроводящее состояние, либо — в высокопроводящее состояние, в зависимости от того, к какому состоянию была близка рабочая точка на ВАХ по напряжению смещения.

С увеличением напряжения смещения $V_{cp} > V_p^{(4)} > V_p^{(3)}$ (кривая 4 на рис. 4а) S-ФП включается более длинноволновым светом $\Delta\lambda_{вкл} = 1,18 \div 1,1$ мкм. Обратное переключение происходит при освещении светом в области $\Delta\lambda_{вык} = 0,98 \div 1,08$ мкм. При больших напряжениях смещения, $V_p^{(5)} > V_p^{(4)}$, после переключения светом в высокопроводящее состояние более длинноволновым светом $\lambda = 1,19$ мкм структура остается в этом состоянии и после снятия освещения. Обратное переключение в низкопроводящее состояние осуществляется только путем уменьшения напряжения смещения. Это объясняется тем, что после срыва рабочая точка находится далеко от $V_{ост}$ и чувствительность к свету резко падает. Таким образом, ФТГЭ в S-ФП с $Si < Ni >$ зависит от выбора рабочей точки на ВАХ.

На рис. 4б показано влияние интенсивности освещения на ФТГЭ. Оказалось, что с увеличением интенсивности освещения спектральные области ФТГЭ расширяются, причем области включающих длин волн смещаются в длинноволновую сторону, а выключающих — в коротковолновую. Этот результат легко объяснить, так как с ростом интенсивности освещения увеличивается глубина ОФП в коротковолновой части спектра, а также величина положительной фотопроводимости в более длинноволновой области спектра. Это указывает на возможность переключения S-ФП из более отдаленных точек на ВАХ. Тем самым при достаточно больших мощностях излучения требования к выбору режимов работы, при которых наблюдается ФТГЭ, смягчаются.

Физическая интерпретация процессов переключения и явления памяти, по-видимому, связана с формированием шнуров тока в S-фотоприемниках, о существовании которых свидетельствует наличие вертикального

участка на ВАХ. Включение диодной структуры в высокопроводящее состояние длинноволновым светом происходит за счет того, что генерированные светом носители диффундируют до шнуров тока и расширяют их. При этом происходит скачкообразное увеличение проводимости. С этими процессами видимо связаны и изменения $V_{cp}(\lambda)$, приведенные на рис. 2б.

Обратное переключение (выключение) связано с тем, что КВ свет, поглощаясь вблизи поверхности, создает сравнительно низкоомную область, которая шунтирует токовый канал (тем самым разрушая шнур), и структура переходит в низкопроводящее состояние.

Исследования показали, что S -ФП с $Si < Ni >$ при наличии ФТГЭ могут использоваться в качестве элемента постоянной памяти, причем запись производится с помощью излучения волн одной длины, а стирание — другой.

Ереванский государственный
университет

Поступила 30. VII. 1981

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент США № 3.424.910, 1969.
2. Пека Г. П., Бродовой В. А., Смоляр А. Н. ФТП, 11, 1886 (1977).
3. Авакьянц Г. М., Барсегян Р. С., Минасян С. В. Изв. АН АрмССР, Физика, 10, 220 (1975).
4. Минасян С. В. Кандидатская диссертация, Ереван, 1975.

ՆԻԿԵԼՈՎ ԿՈՄՊԵՆՍԱՑՎԱԾ ՍԻԼԻՑԻՈՒՄԱՅԻՆ S -ՖՈՏՈՐԵԿՏԻՎՆԵՐՆԵՐԻ ԼՈՒՅՍԱՅԻՆ ՓՈԽԱՆՋԱՏՄԱՆ ՈՐՈՇ ԱՌԱՆՁՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Վ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Վ. Շ. ՄԱՐՈՒԿՅԱՆ, Ժ. Ռ. ՓԱՆՈՍՅԱՆ

Նիկելով կոմպենսացված սիլիցիումային p^+-n-n^+ -դիոդային կառուցվածքներում, սենյակային ջերմաստիճաններում, հայտնաբերված է ֆոտոտրիգերային էֆեկտ: Հետազոտվել են լուսավորման ինտենսիվության, շերտան լարման մեծության, ինչպես նաև բնի դիմադրության ազդեցությունները ֆոտոտրիգերային էֆեկտի վրա: Հետազոտությունները ցույց են տվել նիկելով կոմպենսացված սիլիցիումային S -ֆոտոռեզիստիվների օգտագործման հնարավորությունը օպտոէլեկտրոնիկայում որպես հիշողության բջիջներ:

SOME FEATURES OF SWITCHING THE NICKEL COMPENSATED SILICON PHOTODETECTORS WITH LIGHT

V. M. HARUTYUNYAN, V. Sh. MARUKYAN, J. R. PANOSYAN

The phototrigger effect in nickel compensated p^+-n-n^+ silicon structures was observed at room temperature. The influence of light intensity, of the external bias and the load resistance on the phototrigger effect was investigated. The possibility of using the S -photodetectors as memory cells in optoelectronic devices was shown.