

О ПРИРОДЕ ФОТОПРОВОДИМОСТИ $pSi-nV_2O_5$ ГЕТЕРОСТРУКТУР

К. М. ДАТИЕВ,* Л. НАНАИ, Э. СИЛ, М. ТЭРЭЖ и И. ХЕВЕШИ

Кафедра Экспериментальной Физики Университета г. Сегед

*Факультет Электронной Техники Северо-Кавказского Политехнического Института
г. Орджоникидзе, СССР

(Поступило в редакцию 21. февраля 1978 г.)

Проведено исследование кинетики фотопроводимости $pSi-nV_2O_5$ гетероструктур при воздействии излучений He—Ne и рубинового лазеров. Показано, что характер релаксации фототока существенно зависит от величины обратного напряжения, действующего на гетеропереход. Установлено, что определяющим в процессе пересона фотоносителей являются токи, ограниченные пространственным зарядом. Сделана попытка объяснить механизм возникновения фотопроводимости и ее кинетики на основе полученных результатов.

Введение

В литературе имеются только данные об электрических и статических фотопроводящих свойствах гетероструктур на основе $Si-V_2O_5$ [1—3]. В данной работе приведены предварительные результаты исследований — необходимые для понимания фотоэлектрических явлений — кинетики фотопроводимости гетероструктур в системе $pSi-V_2O_5$ при воздействии излучения He—Ne и рубинового лазеров.

Исследуемый образец и методика проведения экспериментов

Методика изготовления образцов гетероструктур аналогично рассмотренной в [1] с той только разницей, что в качестве подложки использовался кремний p -типа с кристаллографической ориентацией (111). Толщина слоя составляла 0,035—0,04 мкм, а диаметры пятен ~ 2 мм. Схема экспериментальных образцов гетероструктур приведена на рис. 1.

Блок-схемы экспериментальных установок приведены на рис. 2.

Важнейшие параметры источников излучения:

а) He—Ne лазер: мощность $P=0,5$ мВт, длина волны $\lambda=0,6328$ мкм частота повторения импульсов ≈ 750 Гц, длительность импульсов $\tau=0,33$ мсек.

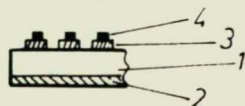


Рис. 1. Структура экспериментальных образцов. 1 — кремниевая подложка, 2 — алюминий, 3 — V_2O_5 , 4 — золото.

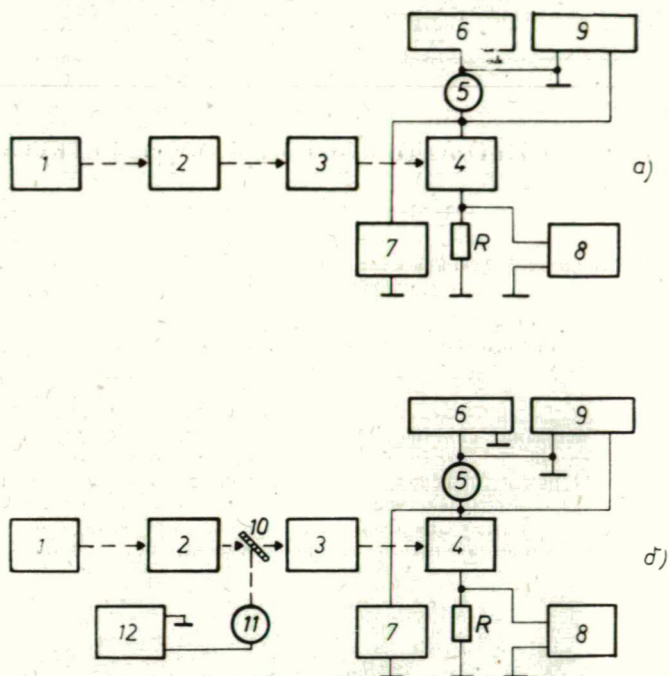


Рис. 2. Блок-схемы измерений кинетики фотопроводимости при воздействии излучения He—Ne (а) и рубинового (б) лазеров. 1 — He—Ne лазер, 2 — дисковый прерыватель, 2 — рубиновый лазер, 3 — набор нейтральных светофильтров, 4 — образец, 5 — амперметр, 6 — источники питания, 7—12 — вольтметры, 8 — осциллограф, 9 — компенсатор, 10 — отражатель, 11 — термоэлемент, 12 — калиброванный микрограф.

б) рубиновый лазер: энергия излучения менялась в интервале 0,01—0,40 Дж, длительность импульса $\tau = 700$ мксек, длина волны излучения $\lambda = 0,694$ мкм. Используемые сопротивления нагрузки были выбраны таким образом, что постоянное времени RC (где, C — емкость образца) во всех случаях было меньше 10 мксек.

Результаты измерений

Оказалось, что длительности времен нарастания и спада фототока, возникающего при воздействии He—Ne лазера существенно отличаются друг от друга и сильно зависят от величины обратного напряжения, как это видно из рис. 3. где t_c и t_H соответственно времена спада и нарастания, измеренные на полувысоте импульса. Кривые нарастания и спада показывают сложный ход: состоят примерно из приблизительно линейного и экспоненциального участков, причем длина линейных участков существенно зависит от величины обратного напряжения как это видно на рис. 4 и 5.

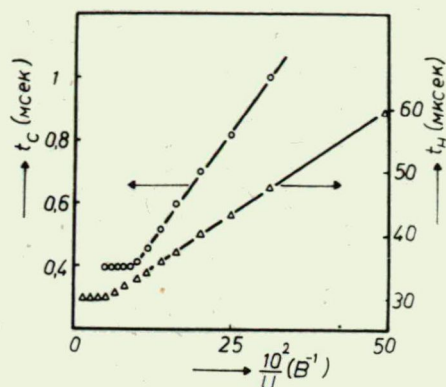


Рис. 3. Зависимость времени нарастания (t_r) и спада (t_c) импульса фототока от обратного напряжения при воздействии He—Ne лазера.

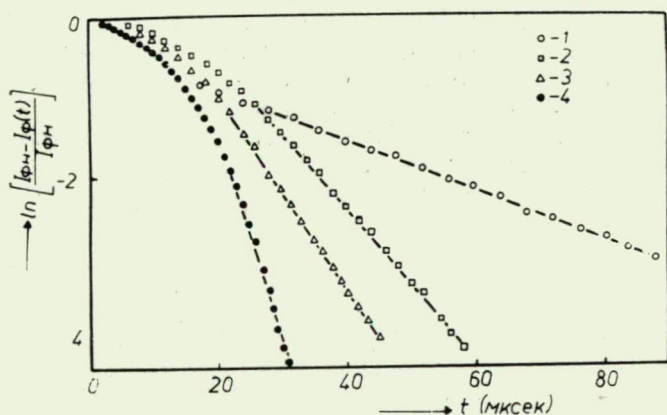


Рис. 4. Временная зависимость фототока, построенная в полулогарифмическом масштабе. Напряжения: 1 — 2В, 2 — 6В, 3 — 18В, 4 — 30В.

На рис. 6. приведена зависимость тока насыщения фототока (I_ϕ) от напряжения (U) в логарифмических масштабах.

Ток насыщения от напряжения зависит степенным образом ($I_\phi \sim U^k$), где показатель степени $k=2,06 \pm 0,03$. Как известно, такая зависимость характерна при наличии токов ограниченных пространственным зарядом (ТОПЗ).

Типичная осциллограмма импульса фототока при воздействии рубинового лазера показана на рис. 7.

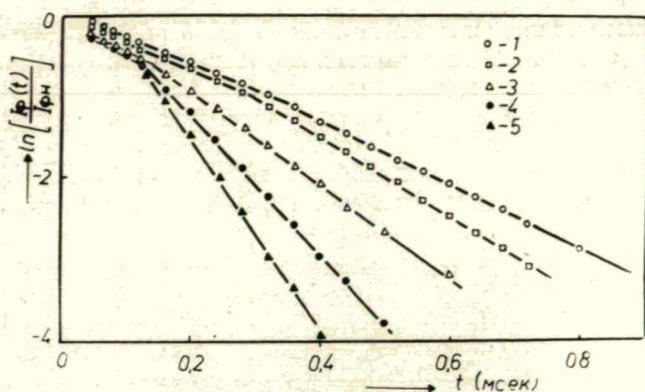


Рис. 5. Временная зависимость фототока спада (t_c), построенная в полупологарифмическом масштабе. Напряжения: 1 — 2В, 2 — 4В, 3 — 6В, 4 — 10 В, 5 — 20В.

Изучение участка нарастания импульса существенно затрудняется из-за пиковой структуры излучения рубинового лазера. Видно, что спад импульса имеет два хорошо различающихся участка: (I) характеризующийся относительно медленным (почти линейным) спадом, (II) спадом экспоненциального типа. На рис. 8. и 9. изображены зависимости спада фототоков от интенсивности излучения и от напряжения приложенного к образцу.

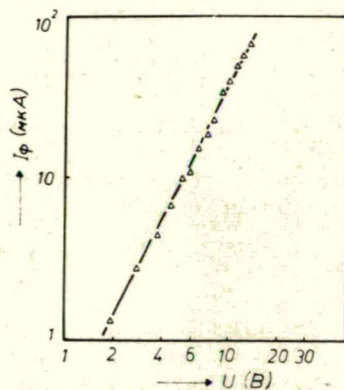


Рис. 6. Зависимость амплитуды импульса фототока от обратного напряжения при воздействии излучения He—Ne лазера.

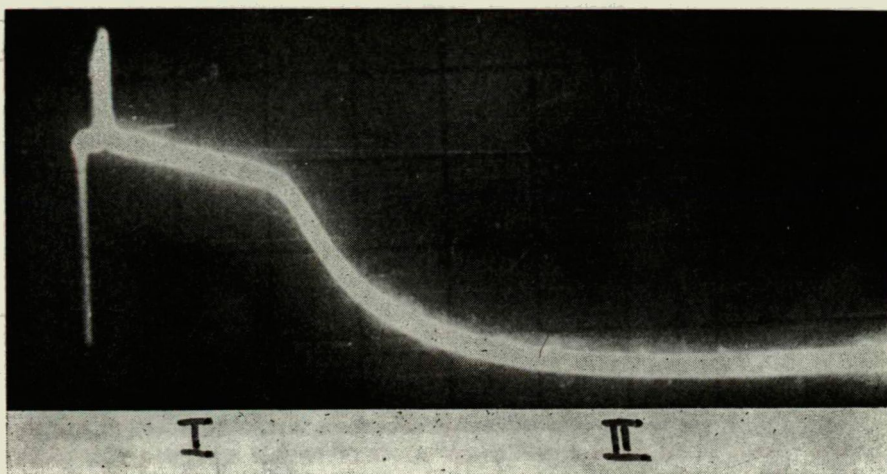


Рис. 7. Оциллограммы импульса фототока при воздействии излучения рубинового лазера. $U=20В$, развертка 2 мсек/дел.

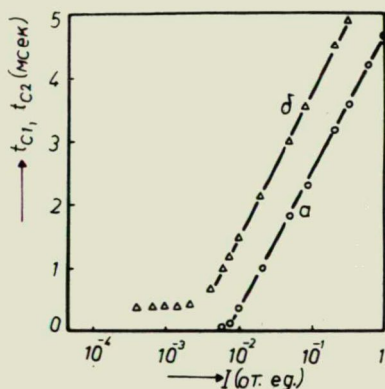


Рис. 8. Зависимость составляющих времени спада импульса фототока на участках I (t_{C1}) и II (t_{C2}) от интенсивности излучения рубинового лазера при $U=10В$. : а — t_{C1} , б — t_{C2} .

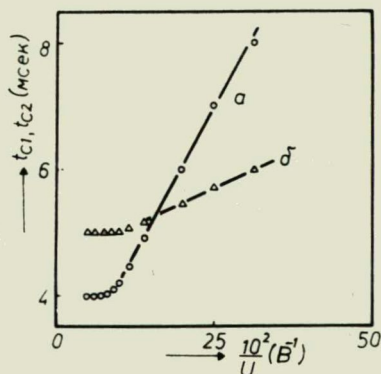


Рис. 9. Зависимость составляющих импульса фототока на участках I (t_{C1}) и II (t_{C2}) от обратного напряжения при воздействии излучением рубинового лазера.: а — t_{C1} , б — t_{C2} .

Интерпретация результатов

На основе данных [4] известно, что поглощение лазерного излучения слоем V_2O_5 в рассматриваемых структурах пренебрежимо мало, а кремний в этом диапазоне является сильно поглощающим элементом. Ток $p-n$ перехода при запирающем напряжении определяется током неосновных носителей заряда. До возбуждения носителей светом, около $p-n$ перехода (на обеих сторонах)

существует широкой обедненный слой. Учитывая кристаллический характер и большую концентрацию локализованных состояний получим, что падение напряжения происходит фактически на кремнии. Под влиянием возбуждающего света в кремнии генерируются носители разного знака. Ширина обедненного слоя должна бы уменьшиться и должно произойти перераспределение спада напряжения на рассматриваемых слоях. По данным рис. 6. стационарное значение $I \sim U^2$, которое указывает на то, что стационарный ток освещенного образца ограничивается пространственным зарядом. Поскольку подвижность носителей заряда в V_2O_5 на несколько порядков меньше чем в кремнии, а также учитывая, что дно зоны проводимости в V_2O_5 лежит выше чем дно зоны проводимости в кремнии [5], постольку соит предположить, что пространственный заряд образуется в V_2O_5 [6], следовательно, из-за очень близкой к квадратичной зависимости $I=f(U)$ есть основание предполагать, что практически все напряжение падает на V_2O_5 .

Интерпретацию кривых нарастания фототока можно провести следующим образом. Предполагая что время жизни τ_{Si} носителей в области пространственного заряда в Si достаточно высоко при $t \ll \tau$, концентрация неосновных носителей вблизи границы растет линейно и инжекцией носителей в V_2O_5 пока можно пренебречь. При достижении достаточно большой концентрации, инжекция носителей в V_2O_5 станет доминирующей, причем происходит перераспределение спада напряжения и заполнение ловушек в V_2O_5 . То обстоятельство, что с ростом обратного напряжения длительности нарастания импульсов падают, объясняется тем, что с ростом напряжения время необходимое для перераспределения потенциалов значительно падает.

Времена нарастания фототока при освещении излучением рубинового лазера свободной генерации корректно не анализируются из-за очень сложной их структуры.

Острый пик, появляющийся в начальном участке фототока (рис. 7.) который часто встречается при такого рода экспериментах повидимому связан с появлением носителей из-за неоднородного термического перегрева поверхности [7], поэтому здесь дальше не обсуждается.

Спад кривых фототока состоит из двух участков. Значения фототока на первом участке спада только незначительно отличается от фототока освещенного образца и приблизительно линейно падает со временем. Из этого следует, что за это время распределение потенциала на системе $pSi - nV_2O_5$ не меняется значительно. Носители остаются локализованными вблизи границы и концентрация их меняется только незначительно. Это предположение не противоречит данным рис. 9., где видно, что в довольно широком интервале значений произведения Ut_{c1} остается постоянным.

Спад второго участка только слабо зависит от напряжения (рис. 9.) но остается сильно зависящим от интенсивности излучения (рис. 8.). Это говорит о том, что его можно связать с опустошением заполненных инжектирующим током ловушек слоя V_2O_5 . Пока инжекция носителей из Si существует (участок I.), изменение концентрации заполненных ловушек пренебрежимо мало, а при прекращении инжекции будет происходить перераспределение напряжения на образце и начинают действовать процессы, связанные с высвобождением носителей из заряженных ловушек (участок II.).

Вышеуказанные выводы являются результатами предварительных экспериментальных исследований. И впредь ведутся исследования для более подробного выяснения характера и природы фототока гетероперехода.

* * *

Авторы выражают благодарность профессору И. Кечкемети за предоставление возможности выполнения работы и за постоянное к ней внимание.

Литература

- [1] Süli Á., L. Michailovits, S. D. Kurmashev, I. Hevesi: Acta Phys. et Chem. Szeged **22**, 45 (1976).
- [2] Süli Á., L. Michailovits, I. Hevesi: Amorphous semiconductors, pp. 307—312, 1976.
- [3] Mackus P. A., A. Süli, M. I. Török, I. Hevesi: Thin Solid Films **42**, 17 (1977).
- [4] Nánai L., I. Hevesi, I. Ketskeméty: Acta Phys. et Chem. Szeged **21**, 109 (1975).
- [5] Datiev K. M., A. Süli, L. Michailovits, I. Hevesi: (to be published)
- [6] Lampert M. A.: Current Injection in Solids, AP New York and London, 1970.
- [7] Борц А. А., М. С. Бродун: ЖЭТФ, **58**, 26 (1970).

ON THE NATURE OF PHOTOCONDUCTION OF pSi—nV₂O₅ HETEROSTRUCTURE

K. M. Datiev, L. Nánai, E. Szil, M. Török and I. Hevesi

The mechanism of photoconduction of pSi—nV₂O₅ heterostructure, produced by He—Ne and ruby laser light was studied. It was demonstrated, that the relaxation time of photocurrent depends essentially on inverse voltage. The space charge limited currents have an important role in photoconduction. An attempt is made to interpret the kinetics of photoconduction on the basis of experimental results.