

Член-корреспондент АН СССР Н. С. ЛИДОРЕНКО, Д. С. СТРЕБКОВ

АНОМАЛЬНЫЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

Экспериментально выявлены и теоретически обоснованы anomальные фотovoltaические эффекты в матричных полупроводниковых структурах «Фотовольт» (рис. 1, 2).

В твердотельной матрице из кремния, сформированной из семейства дырочно-электронных переходов, с плотностью их распределения, соответствующей величине фото-э.д.с. $1 \cdot 10^6$ в 1 м^2 , получена удельная электрическая мощность более 20 вт/см^2 (200 квт/м^2) при линейном увеличении тока и освещенности в 45 000 раз по сравнению с нормальной освещенностью $0,8 \text{ квт/м}^2$. Экспериментальная апробация эффекта в условиях, эквивалентных мощному лазерному освещению, выявила возможность использования «Фотовольта» для диагностики аномально высоких уровней импульса в наносекундном диапазоне.

Исследования модели при сверхвысоких концентрациях излучения показали, что направленное изменение конфигурации электромагнитного

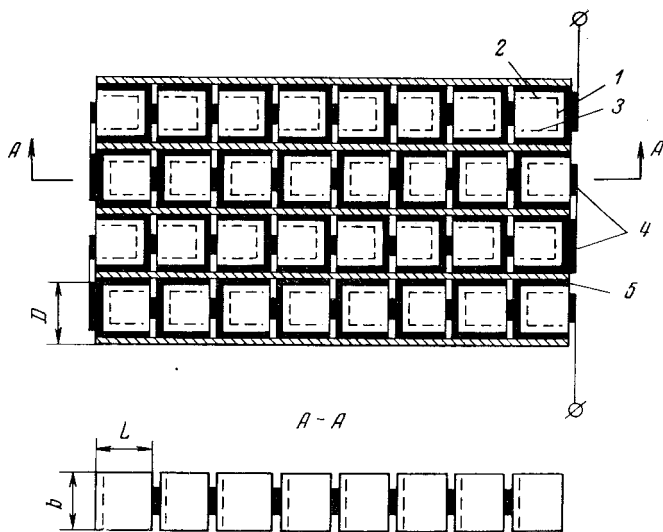


Рис. 1. Матричная полупроводниковая структура «Фотовольт». Конструкция с 3 $p-n$ -переходами в микроэлементе. 1-3 — $p-n$ -переходы, 4 — контакты, 5 — изолирующий слой

поля, индуцированного фотогенерированными носителями, за счет схемного и технологического варьирования топологии поверхности $p-n$ -перехода и экранирования поверхности раздела вырожденными твердотельными областями позволяет в областях сильной инжекции перехода принудительным путем управлять градиентами поля и сохранять барьерные характеристики поверхности раздела. В результате получена экспериментальная возможность асимптотического удаления области

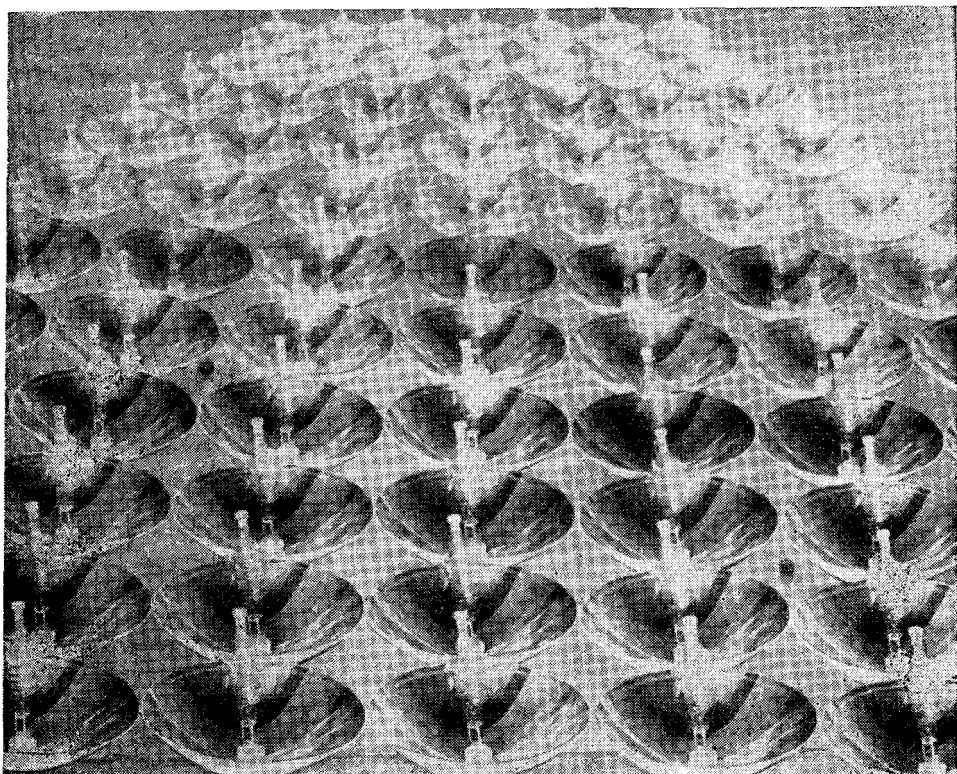


Рис. 2. «Энергетические поля» из «Фотовольтов» с концентраторами излучения

критических значений градиентов наведенного поля к гигантским значениям интенсивности излучения, в сотни тысяч раз превышающих нормальную.

При критической освещенности в неэкранированных областях образуется непрерывный спектр контурных токов, дрейфовая компонента которых возрастает по мере удаления от экранированной области барьера, в то время как генерационно-диффузионная составляющая потока электронов и дырок не изменяется.

В низкотемпературной электронно-дырочной плазме, обладающей гигантской плотностью, в условиях асимметрии электронного и дырочного потоков аномально возрастает электромагнитная связь положительных и отрицательных носителей тока в процессе совместного амбиполярного дрейфа. Существенное значение приобретают нелинейные электрон-фотонные и электрон-электронные взаимодействия, такие как межзонная излучательная рекомбинация и трехчастичные столкновения в Оже-эффekte. Обычные линейные взаимодействия электронов с примесями трансформируются и в значительной степени подавляются, что в квантовомеханической терминологии можно интерпретировать как изменение характера заполнения одноэлектронных энергетических состояний. В частности, при освещенности $5-50 \text{ вт/см}^2$ в «Фотовольте» обнаружен сверхлинейный рост тока, обусловленный увеличением времени жизни за счет изменения механизмов генерации и рекомбинации через примесные уровни.

Основным явлением в «Фотовольте» является аномальный рост длинноволнового отклика за счет изменения конфигурации электромагнитного поля в матричных структурах (рис. 3). Оптимизация электронной струк-

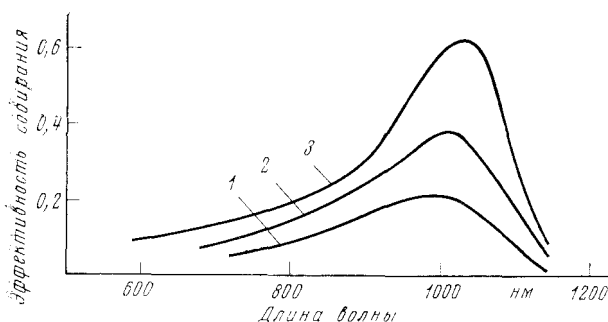


Рис. 3. Спектральные характеристики «Фотовольта» с $p-n$ -переходом на одной (1), двух (2), трех (3) гранях микроэлемента, перпендикулярных рабочей поверхности

туры обеспечивает резкое возрастание доминирующей роли высокоэффективного коллектора, которым является базовая область «Фотовольта».

Наличие диссипативных явлений, сложным образом зависящих от компонент комплексной диэлектрической проницаемости, в данном случае аномально высокого поперечного фотовольтаического эффекта, приводит к эффективному перенормированию параметров спектральной чувствительности. В отличие от обычных планарных фотопреобразователей, макроскопические области генерации электронно-дырочных пар длинноволновой компонентой поля в «Фотовольте» находятся в состоянии полного диффузионно-дрейфового обмена с $p-n$ -переходом. Поэтому качественно новое значение приобрели эффекты, связанные с подавлением поверхностных диссипативных процессов и возникновением когерентных колебаний электромагнитного поля при возмущающем воздействии отражающей поверхности полупроводника. Характер этих колебаний, диктуемые технологией соотношения процессов диффузионного и зеркального отражения и степень пассивации поверхности определяют аномальное возрастание эффективной длины пробега (длины поглощения) фотона и в результате высокую эффективность «Фотовольта» как селективного приемника инфракрасного излучения.

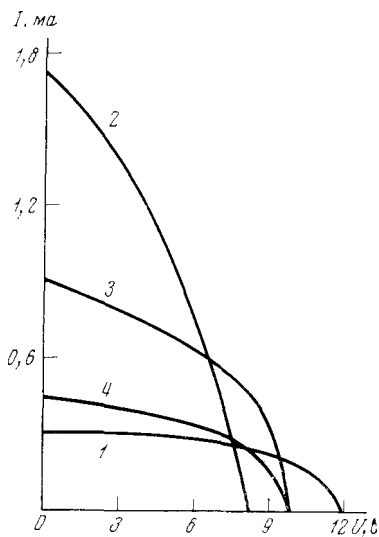


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики «исчезающих» барьеров «Фотовольта». 1 — до диффузии, 2 — после формирования дополнительных $p-n$ -переходов; 3 — через 3 суток; 4 — через 4 суток

Новый аномальный фотоэлектрический эффект в «Фотовольте» был обнаружен на основе теоретического вывода и экспериментального подтверждения (рис. 3) закона аддитивности эффективности собирания неосновных носителей тока барьерами, расположенными на разных гранях микроэлементов с многомерной топологией $p-n$ -перехода.

С использованием свойства аддитивности в матричных структурах из монокристаллического кремния впервые обнаружены и исследованы так называемые исчезающие барьеры, фотоэлектрические характеристики которых полностью деградируют за время от нескольких минут до нескольких суток после образования $p-n$ -перехода (рис. 4). Указанные барьеры и связанное с ними аномальное явление нестабильности фотоэффекта в матричных структурах из кремния возникает только при специальных

технологических режимах термоградиентной диффузии фосфора в матрицы с базой p -типа в сильном электромагнитном поле.

В результате проведенных исследований сформулированы физические принципы и требования к технологии, обеспечивающие формирование устойчивых или нестабильных барьеров в матрице, а также оптимизацию электронной структуры «Фотовольта» с целью получения экстремальных параметров при гигантской освещенности и аномально высокой чувствительности в инфракрасной области.

Описанные явления не укладываются в обычную теорию, основанную на слабом возбуждении исходного полупроводника, а могут быть интерпретированы интерференционной коллективной корреляционной моделью, развиваемой авторами общей теорией непосредственного преобразования видов энергии в электрическую.

Приборы данного типа и теория найдут широкое применение в многочисленных схемах преобразования энергии и информации.

Поступило
8 VIII 1974