

О. А. ГУДАЕВ, Э. Э. ПАУЛЬ, А. П. СЕДЕЛЬНИКОВ
(Новосибирск)

ЛОКАЛЬНАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ХИМИЧЕСКИ ОСАЖДЕННЫХ СЛОЕВ PbS

Распределение локальной фоточувствительности по площади пленки характеризует ее качество как фотоприемника и имеет прикладное значение. Кроме того, распределение фотоотклика вдоль направления электрического поля и зависимость этого распределения от температуры, знака и величины приложенного поля позволяют объяснить особенности вольт-амперных характеристик системы электрод — пленка — электрод [1]. В данной работе представлены результаты исследования однородности распределения величины фотоотклика по площади поликристаллических пленок PbS методом сканирующего светового зонда.

Установка для измерения локальной фоточувствительности методом оптического зонда создана на основе оптического микроскопа MPV-2 («Leitz Wetzlar», ФРГ), оснащенного двухкоординатным предметным столом с шаговыми двигателями. Максимальное поле сканирования 20×20 мм, минимальный шаг 2,5 мкм. Размер светового зонда, формируемого микроскопом, 1—2 мкм. Спектральный диапазон зонда 220—800 нм.

Управление предметным столом, считывание и обработка сигнала осуществляются при помощи лабораторной системы автоматизации «МикроКАМАРлаб» на базе микроЭВМ «Электроника 60М». Управляющая программа позволяет в каждой точке производить большое число измерений, что улучшает отношение сигнал/шум. Сигнал фототока в каждой точке измеряется селективным нановольтметром типа «Унирап 237» и через цифровой вольтметр считывается ЭВМ. Массив точек может быть представлен в виде графика на экране монитора или на графопостроителе.

Измерения локальной фоточувствительности проведены на поликристаллических пленках PbS, полученных методом химического осаждения из раствора на кремниевую подложку с подслоем SiO₂. Пленка лежит поверх планарных золотых электродов. Размер фоточувствительной площадки $\approx 50 \times 50$ мкм, толщина пленок 0,7—0,8 мкм.

На рис. 1 приведено типичное распределение фоточувствительности по площади пленки. Измерения, выполненные на большом количестве образцов, показывают, что

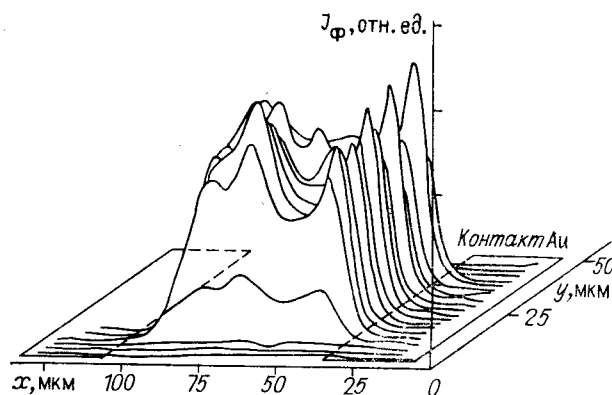


Рис. 1. Распределение фотоотклика по площади пленки

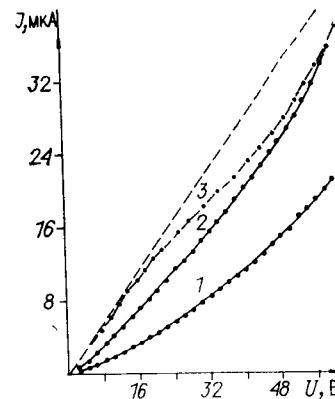


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики пленок:
1, 2 — однородное распределение поля; 3 — для случая барьера Шоттки

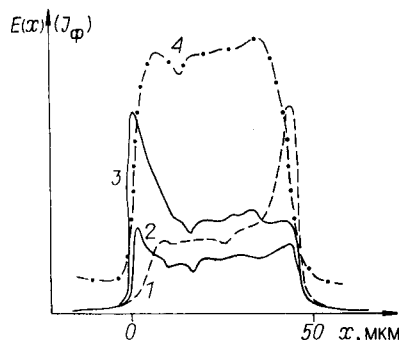


Рис. 3. Распределение фотоотклика по площади пленки при наличии барьера типа Шоттки (В): 1 — 10 (плюс справа); 2 — 5, 3 — 10, 4 — 30 (смена полярности)

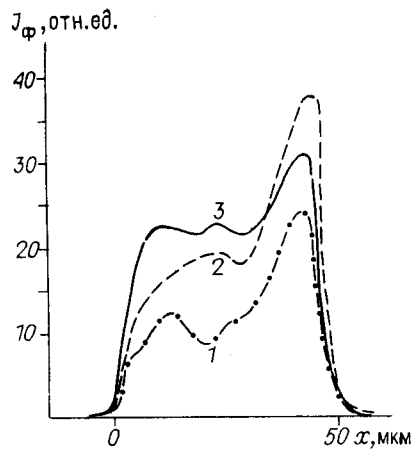


Рис. 4. Распределение фотоотклика по площади при наличии долговременных релаксаций (В): 1 — 10; 2 — 15; 3 — 15 (через 10 мин)

Фоточувствительность распределена неоднородно и характерный размер неоднородности составляет несколько микрон. Это значительно превышает средний размер кристаллита $\sim 0,1$ мкм. Аналогичный размер неоднородности обнаружен авторами работы [2] при исследовании катодолюминесценции и наведенной проводимости пленок халькогенидов свинца. Для многих исследованных образцов проявляется сильная неоднородность фоточувствительности вблизи контактов, зависящая от величины и знака приложенного напряжения. При условии, что фототок много меньше темнового тока $J_{\Phi} \ll J_T$ и локальная фотопроводимость не зависит от поля, можно представить фототок как функцию приложенного поля $J_{\Phi} = \sigma_{\Phi} E(x)$. Тогда по распределению фотоотклика вблизи контактов выделим следующие характерные случаи:

1. Особенность вблизи контактов отсутствует, фотоотклик сравнительно однородно распределен по площади образца. В этом случае в каждой точке на поверхности фотоотклик растет пропорционально поданному напряжению и не зависит (или слабо зависит) от знака приложенного напряжения. При этом вольт-амперная характеристика (ВАХ) линейна для напряжений $U \leq 20$ В и слабо сверхлинейна в области больших напряжений (рис. 2).

2. Область повышенной чувствительности наблюдается вблизи анода (рис. 3). С ростом напряжения величина неоднородности вблизи контакта возрастает быстрее, чем в объеме, но при напряжениях $U \geq 30-40$ В фотоотклик становится более однородным и сильно возрастают шумы. Подобное поведение характерно при наличии барьера Шоттки между пленкой и контактом. Так как используются образцы пленок *p*-типа, то барьер Шоттки приводит к возникновению области пространственного заряда (ОПЗ) вблизи анода. По ширине ОПЗ можно оценить концентрацию основных носителей [3], в нашем случае $p = 1 - 3 \cdot 10^{17}$ см⁻³, что совпадает по величине с концентрацией, измеренной по эффекту Холла. На ВАХ в этом случае существует участок ниже линейного, характерный для ВАХ барьеров Шоттки (см. рис. 2).

3. Вблизи одного или обоих контактов существуют области повышенной фоточувствительности, однако они слабо зависят от знака приложенного напряжения. При больших напряжениях фотоотклик выравнивается, величина критического напряжения лежит в области $U \geq 30$ В и меняется от образца к образцу. На образцах с такими особенностями наблюдаются долговременные релаксации, которые проявляются в медленном изменении распределения фоточувствительности при повторном измерении (рис. 4). В случае снятия внешнего напряжения в образце остается встроенное поле, приводящее к протеканию тока при замыкании внешней цепи. Ток в замкнутой внешней цепи релаксирует длительное время (десятки секунд).

Обнаруженные нами особенности показывают, что на границе раздела контакт (Au) — пленка (PbS) в процессе изготовления возникает более высокоомный, чем пленка, слой (диэлектрическая прослойка). Этот слой в зависимости от толщины приводит либо к барьеру Шоттки (тонкий слой), либо к более устойчивой особенности вблизи электрода. Ловушки диэлектрического слоя способны накапливать заряд, приводящий к появлению встроенного поля. Сопоставление ВАХ и распределения фоточувствительности позволяет более однозначно описать особенности токопереноса в пленках и оценить качество (омичность) контактов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лашкарев В. Е., Лазарев Д. П., Шейнкман М. К. О механизме прохождения сквозного фототока через контакт металл — полупроводник // Фотоэлектрические и оптические явления в полупроводниках. — Киев: АН УССР, 1959.

2. Петров В. И., Прохоров В. А., Юнович А. Э. Исследование локальных неоднородностей фоточувствительности и люминесценции пленок халькогенидов свинца в растровом электронном микроскопе // ФТП.— 1984.— 18, вып. 3.
3. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. Физика полупроводников.— М.: Наука, 1977.

Поступило в редакцию 20 апреля 1989 г.

УДК 681.33 : 681.34

В. А. ЛАБУСОВ, С. В. МИХЛЯЕВ, П. Е. ТВЕРДОХЛЕБ
(Новосибирск)

ОПЫТ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ НЕРАВНОЗНАЧНОСТИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМ СПОСОБОМ

В работе [1] предложено новое схмотехническое решение оптической системы, осуществляющей параллельное вычисление произведения трех матриц, рассмотрен принцип ее работы, приведены оценки дифракционных ограничений. В настоящем сообщении дано описание макета оптико-электронного процессора, созданного на основе этой системы, и приведены полученные с его помощью экспериментальные результаты параллельного вычисления логических функций неравнозначности многозарядных двоичных слов гибридным оптико-электронным способом.

Преобразование, выполняемое оптической системой, описывается выражением $D = BAC$, где B , A и C — вещественные матрицы, а D — результат преобразования, формируемый на выходе системы в виде интенсивности светового распределения. Ввод элементов строки матрицы A реализован с помощью линейки светодиодов, регистрация интенсивностей света, соответствующих элементам матрицы D , — с помощью фотодиодной линейки.

Схема оптической системы процессора показана на рис. 1. Линейка светодиодов I изготовлена из 16 отдельных светодиодов АЛ1107Б (средняя длина волны излучения $\lambda = 0,95$ мкм, мощность непрерывного излучения $P = 10$ мВт при токе $I = 0,1$ А). Режим работы светодиодов импульсный, при этом регулируемая длительность импульса засветки не превышала 160 мкс, а ток через диод составлял 0,4 А. Элементы матриц B и C принимали значения 1 («прозрачен») или 0 («непрозрачен») и задавались с помощью транспарантов 3 , 5 со целевыми апертурами или фототранспарантов. Используемая линейка светодиодов могла освещать только один j -й столбец матрицы B . В связи с этим в выходной плоскости системы формировалось световое распределение — содержимое тех строк матрицы D , номера которых определялись номерами прозрачных элементов в j -м столбце матрицы B . Изменение номера освещаемого столбца матрицы B осуществлялось путем перемещения светодиодной линейки или транспаранта 3 вдоль координаты X , что эквивалентно последовательному вводу различных столбцов матриц A и B . В свою очередь, путем перемещения фотодиодной линейки 8 по координате Y могло осуществляться последовательное считывание всех строк матрицы D .

В оптической системе использованы две цилиндрические линзы 2 , 6 с фокусным расстоянием $F = 80$ мм и два сферических объектива 4 («Гелиос-40», $F = 85$ мм) и 7 («Гелиос-44-2», $F = 58$ мм). Считывание световых распределений осуществлялось фотодиодной линейкой, содержащей 1024 фотоприемных элемента размерами 16×350 мкм при шаге 25 мкм. Размер элемента матрицы C на транспаранте 5 по координате X составлял 0,1 мм и выбирался таким образом, чтобы при проецировании изображения этой матрицы в плоскость фотодиодной линейки изображение каждого столбца матрицы занимало четыре фотоприемных элемента. По координате Y размеры элемента матрицы C составляли 0,49 мм и определялись размерами изображений светодиодов, проецирующихся в плоскость этой матрицы по координате Y . Расстояния между строками матрицы C на транспаранте не были эквидистантными и изменялись от 0,075 до 0,18 мм из-за разброса расстояний между соседними светодиодами.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. Управляющая ЭВМ СМ-3 через магистраль КАМАК взаимодействует с устройствами управления светодиодной (СДЛ) и фотодиодной (ФДЛ) линейками. Управление режимом работы СДЛ осуществляется с помощью блока управления (БУ), обеспечивающего параллельное включение произвольной комбинации светодиодов. Время засветки при этом устанавливается таймером T_1 с точностью 0,1 мкс и задается значением в диапазоне 0—160 мкс. Работа СДЛ с помощью устройства синхронизации (УС) согласуется с работой БУ ФДЛ, обеспечивающего периодическое считывание сигнала с ФДЛ. Минимальное время опроса ФДЛ составляет 1,5 мс, а общее время накопления устанавливается программируемым таймером T_2 и может меняться в широких пределах. Таймеры T_1 и T_2 подключены к генератору синхроимпульсов (ГСИ), работающему с тактовой частотой 1 МГц. Сигнал с ФДЛ поступает на вход 10-разрядного АЦП