

## 06.2

ЭФФЕКТ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ  
В АНИЗОТИПНЫХ ПДП-СТРУКТУРАХА.И. М а л и к, В.А. Г р е ч к о,  
Г.Г. Г р у ш к а

Известно [1], что в структурах типа металл-диэлектрик-полупроводник, используемых в качестве фотопреобразователей, наблюдается ряд специфических фотоэлектрических эффектов (возрастание КПД фотопреобразования усиление фототока), что является следствием образования у границы раздела полупроводник-диэлектрик неравновесной области обеднения из-за протекания токов „утечки” через диэлектрик. Более интересными структурами для изучения данных эффектов являются структуры, в которых металлический электрод заменен сильно легированным полупроводником (например, ITO-смесь окислов индия и олова,  $n$ -типа проводимости), т.е. на ПДП-структурах [2, 3]. Если ПДП-структура состоит из анизотипных полупроводников, наличие широкой (3,6 эВ) запрещенной зоны во фронтальном полупроводнике блокирует ток основных носителей заряда из валентной зоны базового полупроводника. Это должно улучшать параметры ПДП диодов. Кроме того, как следует из [1], в анизотипных ПДП-структурах должен отсутствовать эффект усиления фототока. Однако в данных структурах, как будет показано ниже, можно наблюдать ряд новых для такого типа структур физических эффектов.

В данном сообщении приводятся результаты исследования характеристик анизотипных ПДП-структур  $n$ -ITO-SiO<sub>x</sub>- $\rho$ Si. В качестве базового полупроводника кроме кремния использовались также и другие полупроводники (например,  $Hg_3In_2Te_6$ ). Общим для всех материалов, использованных в качестве базы, являлся  $p$ -тип проводимости и высокое значение удельного сопротивления ( $\rho \geq 10^4$  Ом см). В случае кремниевых структур толщина промежуточного слоя диэлектрика SiO<sub>x</sub> не превышала 30 Å, при которой еще возможен туннельный механизм переноса носителей тока через диэлектрик.

Эффект полного блокирования тока основных носителей заряда возможен лишь в модели идеального гетероперехода. Наличие дефектов (поверхностных состояний) на границе раздела базовый полупроводник-диэлектрик делает возможным протекание шунтирующего тока основных носителей. При контакте слоя ITO с кремнием  $p$ -типа проводимости высота потенциального барьера составляла величину менее 0,3 эВ. Такое небольшое значение высоты барьера и возможность протекания шунтирующего тока обуславливают квазиомический характер контакта при небольшом уровне протекающего тока. Однако при увеличении тока выше определенного значе-

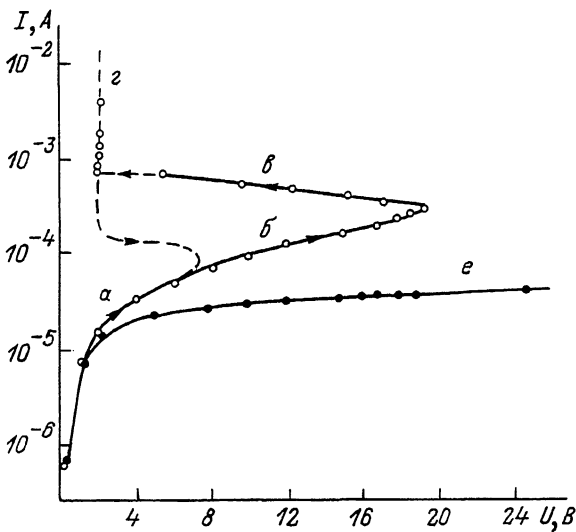


Рис. 1. ВАХ кремниевой анизотипной ПДП-структуры  $n\text{-ITO-SiO}_x\text{-pSi}$ , измеренной на постоянном токе от источника с внутренним сопротивлением  $10^5$  Ом: а-г - ВАХ в прямом направлении, е - ВАХ в обратном направлении.

ния наблюдалось ограничение тока из-за конечного значения сечений захвата для основных носителей заряда (дырок). Избыток дырок накапливается вблизи границы раздела кремний-диэлектрик, что приводит к появлению на прямой ветви ВАХ S-образной характеристики. Механизм возникновения такого типа ВАХ отличается от механизмов в S-диодах, изготовленных на основе высокоомного компенсированного кремния [4].

Первоначально приложенное к структуре напряжение падает в основном на объеме базового материала. Величина шунтирующего тока, протекающего через структуру, ограничивается сопротивлением высокоомной базы. На рис. 1 данному механизму соответствует омический участок (а). При дальнейшем увеличении тока происходит его ограничение, накопление дырок вблизи поверхности и перераспределение напряжения на структуре. Падение значительной части напряжения на гетеропереходе делает возможным прямую инжекцию в базовый материал неосновных носителей (электронов) из ITO. Компенсация заряда инжектированных электронов происходит путем „впрыскивания“ в базу дырок из  $p^+$ -контакта. Сопротивление базы уменьшается, падение напряжения на переходе увеличивается, т.е. появляется положительная обратная связь по току, являющаяся необходимым условием возникновения ВАХ S-типа. На рис. 1 описанным механизмам соответствуют участки (б) и (в). Участок (г) соответствует состоянию структуры после переключения ее в низ-

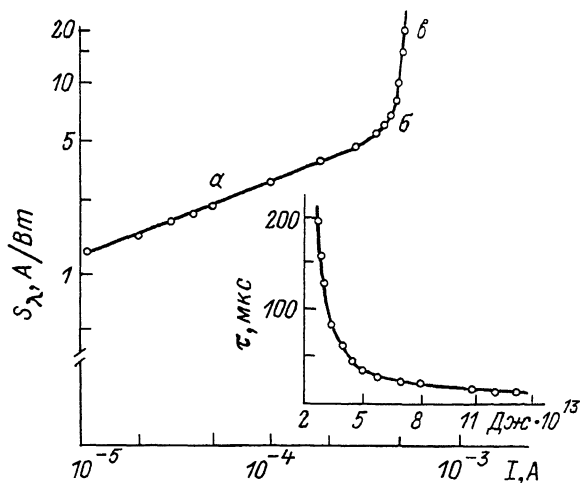


Рис. 2. Зависимость токовой монохроматической чувствительности на длине волны 0.63 мкм от величины тока через структуру. На вставке: зависимость величины задержки включения от энергии (дозы) излучения с длиной волны 0.9 мкм.

коомное состояние. Таким образом, в отличие от работы [2], где эффект усиления фототока обусловлен накоплением неосновных носителей и инжекцией в базовый материал основных носителей (для изотипной ПДП-структуры), в анизотипной структуре получен новый эффект, связанный с инжекцией в базу неосновных носителей вследствие накопления в последней основных носителей заряда. Наличие засветки из области фундаментального поглощения материала базы приводит, во-первых, к изменению величины напряжения включения из-за уменьшения при засветке сопротивления высокоомной базы, во-вторых, к эффекту внутреннего усиления фототока, т.к. засветка идентична приложению к структуре дополнительного напряжения смещения в прямом направлении и дополнительной инжекции электронов в базу. Эффект усиления фототока ясен из рис. 2, на котором представлена зависимость монохроматической чувствительности на длине волны 0.63 мкм при частоте модуляции светового потока 1 кГц и сопротивлении нагрузки  $10^4$  Ом от величины тока через структуру. Выделенные участки соответствуют участкам на ВАХ рис. 1. Исследованные структуры при их включении в прямом направлении обладали значительным усилением фототока в широком диапазоне длин волн 0.3–1.1 мкм. При обратном напряжении смещения исследованные структуры ведут себя как обыкновенные ПДП-фотодиоды с высоким быстродействием.

Характерным для изученных структур является наличие задержки включения, связанной с необходимостью накопления определенного положительного заряда дырок вблизи поверхности базы. Величина

задержки зависит как от приложенного напряжения, так и от энергии светового излучения (дозы) попадающего на структуру при засветке. Такая зависимость приведена на вставке рис. 2 для длины волны падающего на структуру излучения 0.9 мкм.

Таким образом, описанные анизотипные ПДП-структуры благодаря наличию внутренней обратной связи являются простейшими функциональными устройствами и могут использоваться в различных оптико-электронных устройствах: линии задержки, фотоприемники с внутренним усилением, релаксационные генераторы и т.д. При формировании таких структур в одной базовой области возможно путем осуществления между ними объемной связи реализация более сложных функциональных схем: нейристорных линий, нейроконов и т.д.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] В у л ь А.Я., С а ч е н к о А.В. // ФТП. 1983. Т. 17. В. 8. С. 1361-1376.
- [2] М а н а с с о н В.А., Б а р а н ю к В.Б., Т о в с т ю к К.Д. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 6. С. 1047-1050.
- [3] М а н а с с о н В.А., К о м и с с а р о в Г.П. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 7. С. 1322-1324.
- [4] С т а ф е е в В.И. // Радиотехника. 1971. Т. 26. № 10. С. 5-12.

Черновицкий  
государственный университет

Поступило в Редакцию  
21 апреля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 15 12 августа 1989 г.  
03; 04

#### РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ ПРИ ГАЗОВОМ РАЗРЯДЕ ОТ ВНЕШНЕГО ТОКОПОВОДА

Г.А. А с к а р ь я н, И.В. Г о с у д а р е в,  
Л.Д. К л е б а н о в

В последнее время усилился интерес к исследованию нетрадиционных видов реактивного движения при внешнем подводе энергии [1, 6], например, лучами СВЧ [1, 3, 5, 12], лазеров [2, 4, 5, 7, 13-15]. При этом лучевой разряд у торца тела или в камере внутри, увеличивая скорость истечения рабочего вещества, может вызвать тягу, достаточную для ускорения небольших тел (например, частицы малых размеров при светореактивном [2, 4, 13, 14] ускорении могут приобрести космические скорости).

Известны также многочисленные работы по рельсотронному ускорению небольших тел [16-19] под давлением токового газового разряда, прижимающегося к торцу ускоряемого тела. С помощью