

## ЯВЛЕНИЕ ПАМЯТИ В ДВУХБАРЬЕРНОЙ $n^{++}pnn^{+}$ -СТРУКТУРЕ

А. В. Каримов, Д. М. Ёдгорова, О. А. Абдулхаев

Физико-технический институт НПО «Физика–Солнце» АН РУз,  
Ташкент,

Поступила в редакцию 25. 08. 2014

В двухбарьерной кремниевой  $n^{++}pnn^{+}$ -структуре в режиме запираания  $nn^{+}$ - $p$ -перехода в предпробойной области при подсветке одиночным импульсом обнаружено явление оптической памяти, а при подаче прямого порогового тока к  $p$ - $n$ -переходу обнаруживается электрическая полевая память.

**Ключевые слова:**  $n^{++}pnn^{+}$ -структура; элемент памяти; лавинный пробой; двухбарьерная структура; электрическая полевая память.

## ЯВИЩЕ ПАМ'ЯТІ В ДВОБАР'ЄРНІЙ $n^{++}pnn^{+}$ -СТРУКТУРІ

А. В. Карімов, Д. М. Йодгорова, О. А. Абдулхаєв

В двобар'єрній кремнієвій  $n^{++}pnn^{+}$ -структурі в режимі замикання  $nn^{+}$ - $p$ -переходу в передпробійній області при підсвічуванні одиночним імпульсом виявлено явище оптичної пам'яті, а при подачі прямого порогового струму до  $p$ - $n$ -переходу виявляється електрична польова пам'ять.

**Ключові слова:**  $n^{++}pnn^{+}$ -структура; елемент пам'яті; лавинний пробій; двобар'єрна структура; електрична польова пам'ять.

## MEMORY PHENOMENON IN TWO-BARRIER $n^{++}pnn^{+}$ -STRUCTURES

A. V. Karimov, D. M. Yedgorova, O. A. Abdulkhaiev

In double-barrier silicon  $n^{++}pnn^{+}$ -structure in a reverse biasing mode of  $nn^{+}$ - $p$ -junction in pre-breakdown region at illumination by a single pulse the phenomenon of optical memory is detected, and at submission of a direct threshold current to  $p$ - $n$ -junction the electric field memory is found out.

**Keywords:**  $n^{++}pnn^{+}$ -structure; memory element; avalanche breakdown; double-barrier structure; electric field memory.

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие оптоэлектроники и информационной технологии требует разработки все новых и новых полупроводниковых структур, обладающих возможностью хранения и регистрации заряда. Они должны обладать памятью и способностью переключаться из одного состояния на другое и обратно.

К настоящему времени разработаны различные виды полупроводниковых запоминающих элементов и памятей, которые из года в год совершенствуются. Так, в приборах с зарядовой связью имеют место пороговые эффекты, основанные на возможности хранения и регистрации наличия заряда в изолированной области. Схемы на МДП-транзисторах с каналами одного типа в режиме хранения информации практически не потребляют электрической мощности. Потребление мощности происходит лишь в режиме переключения [1, 2].

В отличие от МДП-структур фототиристоры, состоящие из четырехслойной  $p$ - $n$ - $p$ -структуры как в режиме покоя, так и после переключения потребляют ток.

Переход из одного устойчивого состояния в другое происходит скачком, когда напряжение на управляющем электроде или освещенность превышают некоторое пороговое значение.

В частности, при освещении фототиристора в его базовой области генерируются электроны и дырки, приводя к уменьшению напряжения срыва и увеличению протекающего тока [1]. Во включенном состоянии все переходы тиристора включены в прямом направлении.

В настоящей работе приводятся результаты исследования кремниевой  $n^{++}pnn^{+}$ -структуры в качестве элемента памяти, в которой в режиме запираания  $nn^{+}$ - $p$ -перехода при подсветке или подаче прямого тока к базе

обнаружено явление оптической, а также электрической полевой памяти.

### ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуемая структура конструктивно имеет вид, приведенный на рис. 1 и изготовлена следующим образом. На подложке кремния  $n^{+}$ -типа выращивается эпитаксиальный слой  $n$ -типа с концентрацией носителей  $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  и толщиной 6—10 мкм.

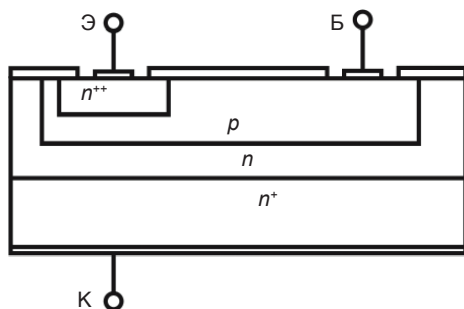


Рис. 1. Геометрический разрез исследуемой  $n^{+}pnn^{+}$ -структуры

Далее в эпитаксиальный слой диффузией бора формируют базовую область  $p$ -типа толщиной 2,0—2,5 мкм с концентрацией носителей  $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Затем диффузией фосфора в базу получают сильнолегированную область эмиттера  $n^{+}$ -типа с концентрацией носителей  $5 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$  и толщиной 1,5 мкм. В результате в готовой структуре формируются два выпрямляющих перехода. Один с  $n^{+}$ - $p$ -переходом, а другой с  $p$ - $n$ -переходом. Исследуемая структура конструктивно аналогична биполярной транзисторной структуре, в которой сильнолегированную область  $n^{+}$ -типа можно принять за эмиттер, а область  $p$ -типа за базу и область  $n$ -типа за коллектор. Схема для изучения фотоэлектрических характеристик исследуемой структуры приведена на рис. 2.

В этой схеме отрицательный полюс напряжения питания от батареи  $V1$  через амперметр подключен к омическому контакту  $n$ - $p$ -перехода, а положительный полюс подается к омическому контакту  $n^{+}$ - $p$ -перехода. В результате относительно прикладываемого напряжения  $p$ - $n$ -переход оказывается прямосмещенным, в то время как  $n^{+}$ - $p$ -переход находится в режиме запирания.

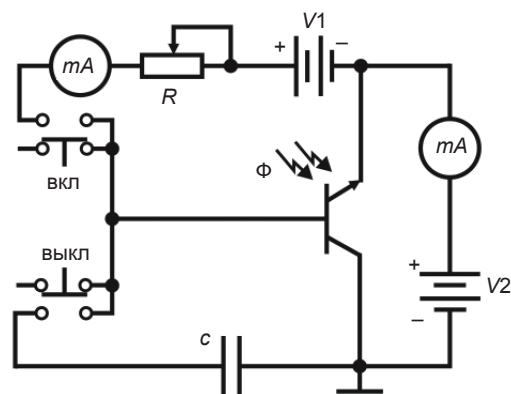


Рис. 2. Электрическая схема для изучения фотоэлектрических характеристик  $n^{+}pnn^{+}$ -структуры

Вывод омического контакта базовой области подключен к двум кнопкам. Первая кнопка (вкл) через амперметр и ограничитель тока соединена ко второму источнику напряжения  $V2$ , плюсом к омическому контакту базовой области и минусом к омическому контакту  $n^{+}$ - $p$ -перехода. Вторая кнопка (выкл) через конденсатор соединяет омический контакт коллектора с контактом базы.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Вольтамперные характеристики  $n^{+}pnn^{+}$ -структуры в режиме обратного смещения приведены на рис. 3.

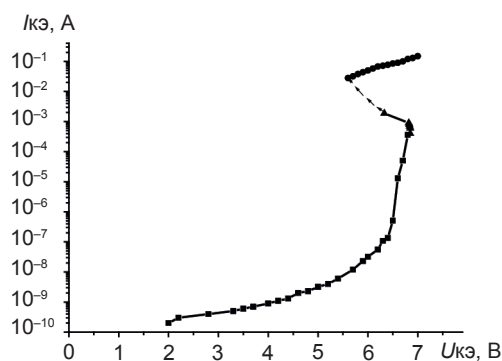


Рис. 3. Вольтамперная характеристика двухбарьерной кремниевой  $n^{+}pnn^{+}$ -структуры

В режиме запирания  $n^{+}$ - $p$ -перехода по мере увеличения напряжения обратный ток приобретает медленно нарастающий характер до достижения  $10^{-7} \text{ А}$  и далее наблюдается резкий рост тока с переходом на участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением, который затем сменяется положительным ростом тока.

Исследования температурной зависимости токовых характеристик показали, что с повышением температуры от 30 °С до 60 °С напряжение пробоя увеличивается от 6,63 В до 6,8 В, что свойственно лавинному механизму пробоя [1]. В продолжение пробойного участка формируется *S*-образная вольтамперная характеристика с двумя устойчивыми состояниями (участки нарастания тока с напряжением).

### ЯВЛЕНИЕ ПАМЯТИ

В режиме запираания  $n^{++}$ - $p$ -перехода при подсветке структуры одиночным импульсом интегрального света от вольфрамовой лампы освещенностью 5000 лк, а также при подаче прямого порогового тока (140 мкА) первой кнопкой (вкл) к базе (рис. 2), в предпробойной области начиная с 6,1 В обнаруживается явление оптической и электрической полевой памяти. При этом ток через структуру скачком увеличивается до определенного значения (рис. 4) и сохраняется на этом уровне до отключения питания или закорачивания второй кнопкой (выкл) через конденсатор омического контакта коллектора с контактом базы. По мере увеличения запирающего напряжения до 6,8 В ток памяти возрастает до  $\sim 0,1$  А.

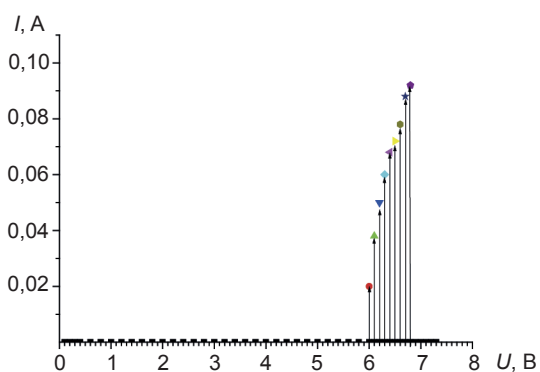


Рис. 4. Зависимости тока от напряжения в  $n^{++}pnn^{+}$ -структуре в режиме запираания  $n^{++}$ - $p$ -перехода после отключения подсветки

Наблюдаемое явление памяти можно объяснить следующим образом. В исходном состоянии от приложенного запирающего напряжения при предпробойных значениях напряжения область объемного заряда у запираемого  $n^{++}$ - $p$ -перехода расширяется до определенного значения. Далее при подсветке

базы наступает режим лавинного пробоя и дырки начинают скапливаться в базовой области. В результате падение напряжения на прямо смещаемом  $p$ - $n$ -переходе за счет выхода дырок из базы будет уменьшаться, приводя к дальнейшему расширению области объемного заряда запираемого  $n^{++}$ - $p$ -перехода вплоть до наступления режима смыкания (перекрывтия областей объемного заряда обоих переходов) за счет обеднения базовой области, когда ток скачком приобретает максимальное значение и сохраняется на этом уровне после удаления подсветки или прямосмещающего напряжения. При закорачивании  $p$ - $n$ -перехода через конденсатор структура возвращается в исходное состояние.

Исследуемая двухбарьерная  $n^{++}pnn^{+}$ -структура может использоваться в качестве ключа, элемента памяти и в оптронной паре.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В двухбарьерной кремниевой  $n^{++}pnn^{+}$ -структуре в режиме запираания  $n^{++}$ - $p$ -перехода в предпробойной области при подсветке одиночным импульсом обнаружено явление оптической памяти, а при подаче прямого порогового тока к  $p$ - $n$ -переходу обнаруживается электрическая полевая память.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов. Часть 1. М.: Мир. — С. 237—240; 429—450.
2. Никольский Ю. А. Оптическая память гетероструктуры  $n\text{InSb-SiO}_2$ - $p\text{Si}$ . — Физика и техника полупроводников. — 2002. Т. 36. — Вып. 9. — С. 1065—1067.

### LITERATURA

1. Zi S. M. Fizika poluprovodnikovyyh priborov. Chast' 1. M.: Mir. — P. 237—240; 429—450.
2. Nikol'skij Yu. A. Opticheskaya pamyat' geterostrukturny  $n\text{InSb-SiO}_2$ - $p\text{Si}$ . — Fizika i tehnika poluprovodnikov. — 2002. Vol. 36. — Vyp. 9. — P.1065—1067.