

02;06;07;11;12

## **Зарядовая связь на основе резонансной поверхностной фотоионизации**

© В.В. Анциферов, Б.П. Кашников, Г.И. Смирнов

Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск

Поступило в Редакцию 2 июля 1998 г.

Представлен метод осуществления зарядовой связи на основе резонансной поверхностной фотоионизации. Указаны возможности использования резонансной поверхностной фотоионизации для преобразования световых сигналов в зарядовые пакеты, а также для хранения и передачи информации.

В данной работе предлагается метод использования резонансной поверхностной фотоионизации для преобразования световых сигналов в зарядовые пакеты, а также для хранения и направленной передачи информации, представленной зарядовыми пакетами.

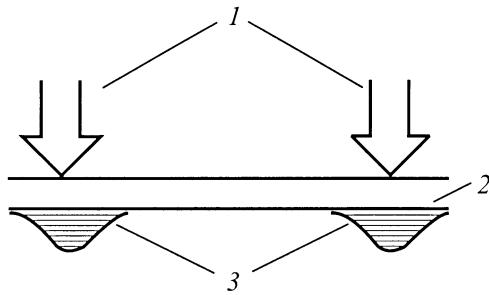
Для управления приборами с зарядовой связью (ПЗС) используются обычно периодические последовательности тактовых импульсов напряжения, имеющих синхронизованную временную диаграмму [1,2]. Основным способом функционирования таких приборов является передача локализованного заряда путем изменения электрических потенциалов на управляющих электродах решетки фоточувствительных элементов [1,2]. При способе управления зарядовой связью, описанном в [3], дискретные фотодетекторы решетки имеют множество металлических электродов, с помощью которых оптическая информация трансформировалась в электрические сигналы, пропорциональные интенсивности регистрируемого инфракрасного излучения. В результате технологического воздействия на базовый полупроводниковый кристалл, используемый для изготовления фоточувствительной решетки, при прикреплении к нему системы электродов в нем образуется множество имеющих периодический характер статических неоднородностей, что приводит к неоднородностям процессов фото- и термогенерации, а также характеристик передачи носителей заряда. Эти факторы существенно ограничивают эффективность регистрации изображений посредством зарядовой связи при малых сигналах и низких уровнях освещенности [2]. Более простой способ планарной технологии осуществления зарядовой

связи, предложенный в [4], имеет этот же недостаток, обусловленный наличием периодических статических неоднородностей на поверхности полупроводниковой пластины.

Эти неоднородности могут быть устранены способом, который основан на принципе использования динамических неоднородностей [5]. Для создания потенциальных ям при указанном способе управления зарядовой связью используются поверхностные акустические волны, возникающие благодаря пьезоэлектрическому эффекту. Скорость перемещения потенциальных ям в полупроводнике совпадает со скоростью распространения волны. Способ управления зарядовой связью посредством поверхностных акустических волн характеризуется высокой скоростью обработки и имеет высокое значение произведения длительности задержки на полосу частот (до нескольких тысяч). Главный недостаток данного способа — возможность работы приборов с зарядовой связью в сочетании с поверхностными акустическими волнами только на фиксированных полосе частот и задержках. В недавних работах [6,7] исследовались фототермические эффекты, обусловленные воздействием импульсного лазерного облучения на поверхностные состояния германия [6] и перемещение границы  $p$ - $n$ -перехода в прямозонных GaAsP-структурах [7].

Возможности неэлектродного управления зарядовой связью без фиксации полосы частот и задержек могут обеспечиваться посредством использования электромагнитного излучения, которое создает на поверхности полупроводника дипольный слой в результате резонансной фотоионизации частиц (атомов или молекул), адсорбированных на поверхности образца.

Новые технические свойства резонансной поверхностной фотоионизации [8–12] проявляются в рассматриваемом способе управления зарядовой связью, для реализации которого необходимо на поверхность полупроводникового образца, используемого при изготовлении обычных приборов с зарядовой связью, вместо электродов нанести монослой адсорбированных частиц (рис. 1). При необходимости этот монослой адчастиц может быть отделен от поверхности полупроводника тонким слоем диэлектрика, толщина которого позволяет электронам туннелировать с адсорбированного монослоя в полупроводник. Адсорбированные на поверхности частицы подбираются с такими электронными уровнями, что основное состояние располагается на фоне запрещенной зоны, а возбужденное — попадает в зону проводимости полупроводника.

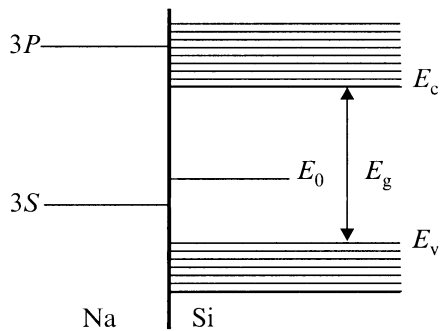


**Рис. 1.** Распределение зарядов в различные моменты их переноса на основе резонансной поверхностной фотоионизации: 1 — резонансное лазерное облучение, 2 — монослой адчастиц, 3 — зарядовые пакеты в полупроводниковом образце.

В случае падения на монослой излучения, резонансного переходу между этими состояниями, адсорбированные частицы возбуждаются и электроны с них туннелируют в полупроводник, в результате чего на облучаемом участке поверхности возникает дипольный слой. При инжекции носителей заряда в ПЗС либо путем фотогенерации, либо электрически зарядовые пакеты накапливаются под дипольным слоем вследствие заряд-дипольного взаимодействия. Передвигая облучаемый участок по поверхности, можно осуществлять перенос заряда (рис. 1).

В зависимости от предназначения приборов с зарядовой связью в их конструкции для освещения монослоя адчастиц могут быть применены один или несколько резонансных излучателей (светодиоды, микролазеры). При данном способе управления зарядовой связью не происходит жесткой фиксации полосы частот и задержек, поскольку эти параметры определяются легко и быстро измеряемыми режимами резонансного облучения поверхности. Топология облучаемой области может быть практически произвольной.

Если канал переноса заряда расположен в широкозонном полупроводнике, а область фотогенерации носителей заряда — в адсорбированном монослое, то можно получить быстродействующий фоточувствительный прибор с зарядовой связью с требуемой спектральной характеристикой, определяемой шириной возбужденного состояния адчастиц и малыми темновыми токами в канале переноса. Полупроводник и



**Рис. 2.** Схема расположения основного и возбужденного электронных состояний атомов натрия относительно энергетических зон кремния.

адсорбированный на его поверхности монослой резонансных частиц, представляющие собой своего рода гетероструктуру, позволяют получить дополнительные преимущества с точки зрения оптимизации ПЗС (быстродействие, низкий уровень шумов).

Конкретная реализация данного способа управления зарядовой связью может быть осуществлена, в частности при использовании кремния в качестве полупроводникового образца и атомов натрия в качестве адсорбированных частиц. На рис. 2, представлена схема расположения уровней энергии  $E$  основного и возбужденного состояний атомов натрия относительно энергетических зон кремния. Здесь через  $E_g = E_c - E_v$  обозначена запрещенная зона;  $E_v$  — потолок валентной зоны,  $E_c$  — дно зоны проводимости. Основное состояние атома натрия 3S попадает в запрещенную зону, тогда как его возбужденное состояние — в зону проводимости. Возбуждение атомов натрия в состояние 3P производится резонансным лазерным излучением с длиной волны  $\lambda = 589 \text{ nm}$ . Электроны с возбужденных атомов натрия туннелируют в зону проводимости кремния, вблизи поверхности которого вследствие этого образуется дипольный слой и происходит накопление носителей заряда. При перемещении области резонансного облучения по монослою адсорбированных атомов натрия происходит перенос заряда вблизи поверхности кремниевого образца по требуемой траектории и в требуемой последовательности, регулируемых посредством резонансных облучателей.

Отметим, что при изображении энергетических уровней для упрощения не указаны возможные сдвиги и уширения уровней атомов натрия, а также изгибы зон кремния, поскольку их наличие не меняет основного эффекта. Кроме того, возмущения уровней адчастиц обычно велики в случае их осаждения на поверхности металлов, тогда как при осаждении на полупроводниках возмущения уровней сравнительно невелики из-за понижения концентрации свободных электронов.

Для создания приемника инфракрасного излучения можно внедрить в кремний примесь с уровнем  $E_0$ , совпадающим с основным состоянием адчастицы. Инфракрасное излучение переводит электроны из валентной зоны на уровень примеси, откуда они туннелируют в основное состояние адатома  $3S$ , которое затем освобождается резонансным излучением. Получается двухступенчатый переход через  $3S-3P$  в зону проводимости. Такой переход возможен и в самом полупроводниковом образце. Однако использование адсорбированного монослоя позволяет осуществлять накопление и перенос заряда (т.е. управление зарядовой связью) с помощью резонансного излучения.

## Список литературы

- [1] Boyle W.S., Smith G.E. // Bell System Techn. J. 1970. V. 49. P. 587–591.
- [2] Носов Ю.Р., Шилин В.А. // Основы физики приборов с зарядовой связью. М.: Наука, 1986.
- [3] Патент США № 4064533. 1981.
- [4] Патент США № 4689246. 1987.
- [5] Gaalenia S.D., Shwartz R.J., Gunskor R.L. // Appl. Phys. Lett. 1976. V. 29. P. 82–87.
- [6] Викценц С.В., Дмитриев С.Г., Захаров Р.А. // ФТП. 1997. Т. 31. № 5. С. 513–515.
- [7] Сукач Г.А. // ФТП. 1997. Т. 31. № 6. С. 753–756.
- [8] Auschwitz B., Lactann K. // Chem. Phys. Lett. 1985. V. 113. P. 230–237.
- [9] Малышев Г.Ф., Телегин Г.Г. // ЖТФ. 1986. Т. 56. С. 1195–1199.
- [10] Зиновьев А.В., Луговской А.Ю., Усманов Т. // ЖЭТФ. 1990. Т. 98. С. 1364–1369.
- [11] Закурдаев И.Ю., Миловзоров Д.Е. // Письма в ЖЭТФ. 1992. Т. 55. С. 265–270.
- [12] Antsiferov V.V., Smirnov G.I., Telegin G.G. // Optics Communs. 1995. V. 118. P. 35–39.