

*The model for Hg diffusion in heterogeneous  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  crystals is offered, taking into account both macroscopic diffusion and drift of the charged point defects, and local processes of their interaction among themselves and with Te precipitates. The analytical estimations of the basic characteristics of mercury vacancy distribution are executed. It is shown, that the local equilibrium of the point defects and the precipitates is broken on depth  $\sim 10$  microns near the interface of homogeneous and heterogeneous part of  $Hg_{1-x}Cd_xTe$ , therefore calculation of distribution of the defects in thin layers requires the obvious account of the appropriate reactions.*

УДК 537.312.5:621.383.52

## Исследование влияния геометрически структурированных электрического и магнитного полей на параметры кремниевых фотодиодов

Ю. Г. Добровольский, В. Д. Фотий  
КТБ "Фотон", г. Черновцы, Украина

*Исследована эффективность использования геометрически структурированных электрического и магнитного полей для уменьшения темнового тока  $p-i-n$ -фотодиодов, а также темнового тока и напряжения шума лавинных фотодиодов, изготовленных на основе кремния. Показано, что указанные параметры у отдельных приборов уменьшаются в несколько раз. При этом наблюдается нерегулярность эффекта.*

Существующие технологии полупроводникового приборостроения позволяют реализовать конструкции фотоприемников, параметры которых, например, темновой ток, шумы, в большинстве случаев далеки от теоретически достижимых пределов. Это обусловлено использованием высокотемпературных технологических процессов, которые способствуют увеличению дефектности полупроводниковых кристаллов и уменьшению времени жизни носителей заряда. Обычно эта актуальная проблема — минимизация уменьшения времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниковом приборе — решается путем оптимизации технологических процессов полупроводникового производства, а в конечном итоге — отбраковкой ненадежных изделий [1, 2]. Однако существует возможность ее решения путем бесконтактного воздействия на полупроводниковые приборы, по крайней мере на фотодиоды, внешним геометрически структурированным статическим электрическим и магнитным полями (ГСЭМП), которое осуществляется при комнатной температуре [3].

Ранее проведенные исследования показали [4, 5], что подобное воздействие способно улучшать параметры  $p-n$ -фотодиодов на основе кремния, германия, сурьмянистого индия (при 70 К), а также улучшать характеристики таких полупроводниковых материалов, как  $Hg_{1-x}Mn_xSe$ ,  $Hg_{1-x}Mg_xTe$ ,  $In_2Hg_3Te_6$ , поликристаллический германий, легированный ртутью и сурьмой, а также монокристаллический германий [6].

Анализ полученных результатов показал [7], что при такой обработке улучшается время жизни неосновных носителей заряда.

### Эксперимент

Цель исследования — изучение влияния ГСЭМП на два класса фотоприемников на основе кремния:

лавинные фотодиоды на основе кремния типа ФД-311Л в количестве 25 шт.;

$p-i-n$ -фотодиоды на основе высокоомного кремния  $p$ -типа проводимости ФДК-142-01 в количестве 15 шт. Особенность этого типа  $p-i-n$ -фотодиода заключается в том, что область пространственного заряда в нем с помощью внешнего смещения растянута на всю толщину кристалла фотодиода.

Источник ГСЭМП в нашем случае был несколько изменен. Он состоит из нескольких ферромагнитных колец, соединенных между собой поверхностями с разноименными полюсами, а в цилиндрическое отверстие, образованное ферромагнитными кольцами, помещен источник электрического поля. Вся конструкция стыкуется с конической поверхностью, через которую осуществляется воздействие устройства на исследуемый объект. Конструкция источника электрического поля позволяет регулировать его напряженность, а также модулировать.

Исследования проводились на стандартных установках для измерения параметров фотодиодов, в состав которых вводился источник ГСЭМП.

При исследовании эффективности влияния ГСЭМП на  $p-i-n$ -фотодиоды контролировалось изменение темнового тока. При исследовании лавинных фотодиодов контролировалось изменение напряжения шума и темнового тока.

Наиболее интересные на наш взгляд результаты получены при обработке лавинных кремниевых фотодиодов ФД-311Л (рис. 1). Напряжение шума у фото-

диодов, которые отреагировали на воздействие, уменьшилось в 2—3 раза, темновой ток — до двух раз на протяжении 15 мин, после чего изменения практически прекратились. Интересно, что сначала наблюдается увеличение обоих параметров. Кроме того, уменьшается напряжение, при котором формируется лавина, потом (через 2—3 мин) происходит резкое падение напряжения формирования лавины с последующим его восстановлением и уменьшением темнового тока.

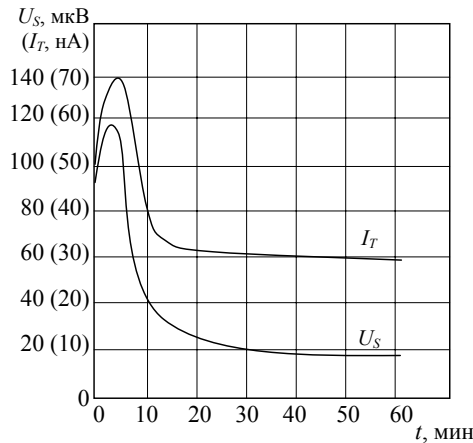


Рис. 1. Усредненные значения скорости изменения напряжения шума ( $U_s$ ) и темнового тока ( $I_t$ ) кремниевых лавинных фотодиодов ФД-311Л

Поведение кремниевых  $p-i-n$ -фотодиодов было несколько иным. При напряжении 135 В темновой ток, который измерялся при 20 °С (режимы измерений соответствуют требованиям технических условий на изделие), медленно уменьшается на протяжении 3 ч приблизительно в 2—3 раза. По истечении этого времени изменения критериального параметра практически прекращаются. На рис. 2 приведена зависимость изменения темнового тока при 20 °С от времени обработки.

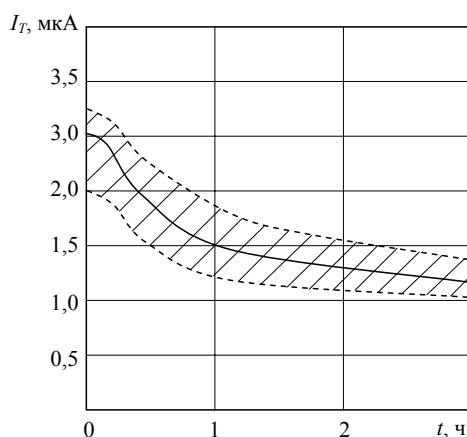


Рис. 2. Зависимость изменения темнового тока фотодиода ФДК-141 при 50 °С от времени обработки ГСЭМП: — — — — минимальные и максимальные значения параметра; — — — — усредненные

**Обсуждение полученных результатов**

Следует отметить, что улучшение параметров наблюдается не на всей выборке фотоприемников, а лишь

на определенной части: для кремниевых  $p-i-n$ -фотодиодов — 2/3 от объема выбранной партии, для лавинных фотодиодов — лишь 1/4 выбранной партии. Такой результат говорит о том, что влиянием геометрически структурированных электрического и магнитного полей можно устранять определенный класс дефектов. Кроме того, факт улучшения параметров на разных фотоприемниках за разное время можно связать с тем, что фотодиоды изготовлены из кремния с различным удельным сопротивлением. В частности, его величина для лавинных фотодиодов составляет 600 Ом·см, а для  $p-i-n$ -фотодиодов — около 20000 Ом·см, что более чем в 30 раз превышает удельное сопротивление кремния, из которого сделаны лавинные фотодиоды.

Следует отметить необратимый характер изменений, которые происходят в структуре фотоприемников под воздействием ГСЭМП. Уровень параметров, достигнутый благодаря влиянию ГСЭМП на кремниевые лавинные и  $p-i-n$ -фотодиоды, остался без изменений через 1000 ч наработки — стандартное испытание на безотказность для такого типа приборов.

Метод улучшения параметров полупроводниковых фотодиодов, который был использован при проведении вышеописанных экспериментов, обладает бесспорным преимуществом по сравнению с известными ранее. В частности, он осуществляется при комнатной температуре, и для него не требуется сложное и дорогостоящее оборудование. Однако в настоящее время ему присущ существенный недостаток, который состоит в том, что эффект воздействия ГСЭМП проявляется нерегулярно; не в каждом эксперименте, которые проводятся на одной и той же группе приборов, достигается эффект улучшения параметров. Как правило, первые эксперименты проходят удачно, а в последующем эффективность воздействия ГСЭМП снижается до уровня точности измерения критериального параметра (темнового тока). При переносе установки с источником ГСЭМП в новое помещение картина повторяется — первые эксперименты дают максимальный результат, в последующих — эффективность воздействия прекращается. Такие результаты требуют дальнейших исследований

особенностей ГСЭМП, в том числе и теоретических. Авторы готовы рассмотреть предложения по проведению совместных исследований с учеными и инженерами, которых заинтересуют полученные результаты.

Предварительные исследования показывают, что на эффективность воздействия оказывают влияние различные внешние физические поля, в том числе и anomalно слабые, а также астрономические явления.

## Выводы

1. Проведены исследования влияния ГСЭМП на кремниевые лавинные и  $p-i-n$ -фотодиоды. Показано, что при этом необратимо уменьшаются темновой ток обоих типов приборов и напряжение шума лавинных фотодиодов.

2. Разность во времени, за которое происходит изменение критериальных параметров, очевидно, связано с различным удельным сопротивлением кремния, из которого изготовлены приборы.

3. Недостатком использованного метода улучшения параметров фотоприемников с помощью ГСЭМП является нерегулярность его эффективности, что связано с недостаточной изученностью природы ГСЭМП.

#### Л и т е р а т у р а

1. *Торопкин Г. Н.* Основы надежности изделий квантовой электроники. — М.: Радио и связь, 1983. — 240 с.
2. *Парфенов О. Д.* Технология микросхем. — М.: Высшая школа, 1986. — 320 с.
3. *Добровольский Ю. Г., Ащеулов А. А., Годованюк В. М.*: Патент Украины 36197 А. Способ изготовления фотодиодов. 29.06.2000. МПК Н 01 L 31/18; Заявл. 16.11.1999.

4. *Ащеулов А. А., Добровольский Ю. Г., Безулик В. А.* Воздействие электрического и магнитного полей на параметры полупроводниковых приборов// ТКЭА. 2000. № 1. С. 33—35.

5. *Добровольский Ю. Г.* Низкотемпературный отжиг полупроводниковых материалов и приборов с помощью электрического и магнитного полей определенной конфигурации. Тематическая подборка и материалы первой промышленной международной научно-технической конференции "Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях", п. Славское. — Киев: УИЦ "Наука. Техника. Технология", 2001. С. 176.

6. *Тарасюк П. П., Добровольский Ю. Г., Мікітчук О. В.* Про вплив певної комбінації електричного та магнітного полів на кристалічне тіло// Науковий вісник ЧНУ. Вип. 50. Фізика. — Чернівці, ЧДУ. 1999. С. 65—67.

7. *Добровольский Ю. Г., Ащеулов А. А.* Аналіз темного струму фотодіодів при одночасній дії комбінації електричного та магнітного полів// Науковий вісник ЧНУ. — 1999. Вип. 50. С. 108—109.

*Статья поступила в редакцию 29 июня 2005 г.*

## Research of influencing of the geometrically structured electric and magnetic fields on the parameters of silicon photodiodes

*Yu. G. Dobrovolskiy, V. D. Fotiy*  
КТВ "Photon", Chernovtsi, Ukraine

*Efficiency of the use of the geometrically structured electric and magnetic fields for reduction of dark current of p-i-n photodiodes is explored, and also dark current and tension of noise of avalanche photodiodes made on the basis of silicon. It is shown, that the indicated parameters at separate devices diminish in once or twice. Thus there is irregularity of effect.*