

Д. ф.-м. н. З. А. ИСКЕНДЕР-ЗАДЕ,
д. ф.-м. н. Ф. Д. КАСИМОВ, С. А. ИСМАЙЛОВА

Азербайджан, г. Баку, Азербайджанский технический ун-т,
ОКБ космического приборостроения
E-mail: ssddb@azerin.com

Дата поступления в редакцию
23.01—16. 07 2002 г.

Оппонент к. т. н. В. И. ЗОЛОТАРЕВСКИЙ
(НИИ МП, г. Киев)

КОСВЕННЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ НАГРЕВ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОСХЕМ

Полученные высококачественные монокристаллические слои позволяют изготавливать в них элементы функциональных микросхем, в частности, датчики Холла.

Непрерывное повышение степени интеграции и функциональной сложности интегральных схем (ИС) диктует необходимость уменьшения числа высокотемпературных операций, их длительности и температуры. Быстрые термические обработки, для которых могут быть использованы потоки электронов, неогерентное излучение или лазерная технология, наилучшим образом соответствуют этой задаче [1].

Наиболее перспективным из вышеперечисленных процессов является лазерная технология обработки полупроводниковых материалов [2, 3], отличающаяся высокой локальностью, импульсным характером и селективностью воздействия на обрабатываемые элементы. Она позволяет получить качественно новые структуры и сделать первый шаг к созданию “трехмерных” ИС [4], элементы которых располагаются как в изолированной окислом пленке, так и в подложке. Лазерная рекристаллизация пленок поликристаллического кремния (ППК) увеличивает размер их зерен до нескольких десятков микрон, что позволяет использовать рекристаллизованную пленку для создания активных приборов.

Интересные результаты с точки зрения формирования монокристаллических областей большого размера получены с использованием сканирующего лазерного излучения непрерывного действия, особенно в технологии “кремний-на-изоляторе”, поэтому изучение методов рекристаллизации слоев кремния и возможностей их использования в технологии изготовления ИС представляет большой научный и практический интерес. Лазерная технология позволяет вплотную подойти к решению проблемы создания интегральных микросистем, в которых на одном кристалле, помимо “интеллектуальных” сенсоров (smart sensor), размещаются также и силовые элементы (smart power), преобразующие сигналы чувствительных элементов от внешних воздействий [5].

Рекристаллизация ППК обычно производится аргоновым лазером непрерывного действия с длиной волны 0,51 мкм в режиме сканирования луча. Ранее было показано, что подвижность носителей в

канале МОП-транзистора, изготовленного в рекристаллизованной лазерным лучом ППК, составляет порядка 350 см²/В·с [6]. Контрольные приборы, сформированные в ППК, характеризовались подвижностью ~20 см²/В·с, а подвижность в транзисторах, изготовленных в монокристаллической подложке, была порядка 700 см²/В·с. Следовательно, рекристаллизованная ППК по своим свойствам приближается к монокристаллической.

Однако непосредственный лазерный нагрев имеет и свои недостатки, связанные с возникновением дефектов в рекристаллизованном кремнии. В [7] было показано, что вследствие меньшей плотности напыленных слоев по сравнению с монокристаллическими в эпитаксиальном слое после лазерной обработки могут наблюдаться микропузырьки и сферические пустоты. В связи с этим мы использовали метод косвенного лазерного нагрева [8], при котором поглощение лазерного излучения происходит в тонкой пленке тугоплавкого металла, расположенной над поликремнием и отделенной от него слоем диэлектрика. Расплавление поликремниевой пленки для последующей рекристаллизации происходит в результате теплового потока от нагретого металла через слой диэлектрика. Такой метод обладает рядом достоинств: возможно применение любых лазеров, отсутствует непосредственное взаимодействие лазерного излучения с ППК, повышена стабильность процесса рекристаллизации.

Нами использовался твердотельный лазер непрерывного действия с длиной волны 1,06 мкм, в качестве тугоплавкого металла был выбран молибден, обладающий близким к кремнию коэффициентом термического расширения и высокой адгезией к кремнию и его окислу. Недостатком молибдена является то, что при высокой температуре он легко окисляется. Для предупреждения этого явления на поверхность металла наносили слой двуокиси кремния, одновременно служащий антиотражающим покрытием.

Согласно [9, с. 32], экстремальные значения пропускания антиотражающего покрытия могут иметь место при определенных толщинах окисной пленки d_1 на данной длине волны λ , которые определялись по формуле

$$d_1 = \frac{\lambda}{4\pi n_1} \arctg \frac{2n_1 k_2}{n_1^2 - n_2^2 - k_2^2}, \quad (1)$$

где n_1 и n_2 — показатели преломления окисной пленки и подложки;

k_2 — показатель пропускания.

Правильным выбором показателя преломления n_1 и толщины пленки d_1 можно свести отражение от первой поверхности к минимуму. Поскольку коэффициент k вносит лишь незначительный фазовый сдвиг, он, в случае кремния, не влияет на положение максимума и минимума кривой зависимости пропускания от длины волны, и поэтому хорошим приближением выражения (1), согласно [9, с. 35], является следующая формула:

$$d_1 = (2l + 1) \frac{\lambda}{4n_1} \quad (l = 1, 3, 5 \dots) \quad (2)$$

Измерения показали, что при толщине пленки окисла ~0,2 мкм коэффициент отражения от поверхности при воздействии лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм составляет порядка 30%. Наличие на поверхности молибдена антиотражающего покрытия также стабилизирует процесс рекристаллизации ППК ввиду постоянства величины поглощаемой энергии в процессе обработки.

Толщина подслоя SiO_2 выбрана 0,9 мкм, ППК — 5 мкм, второй слой SiO_2 — 0,2 мкм, молибдена — 0,3 мкм, антиотражающей пленки SiO_2 — 0,2 мкм. Рекристаллизация проводилась путем сканирования лучом непрерывного лазера по поверхности структуры. Мощность излучения изменялась в пределах 15—30 Вт, скорость сканирования — 10 см/с, температура подложки — 450°C. Конструкция полученной структуры показана на рис. 1.

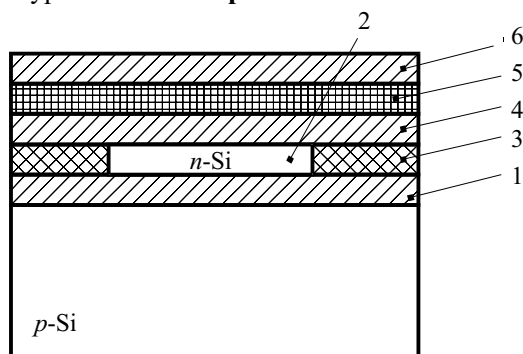


Рис. 1. Конструкция структуры с рекристаллизованной пленкой кремния (РПК):

1 — подслой SiO_2 ; 2 — РПК; 3 — ППК; 4 — слой SiO_2 ; 5 — молибден; 6 — антиотражающая пленка SiO_2

В результате локальной рекристаллизации ППК получались участки монокристаллической рекристаллизованной пленки кремния (РПК), в которых можно изготавливать элементы ИС, и участки ППК, которые можно использовать в качестве чувствительных элементов различных неэлектрических величин [10]. Подробнее технология косвенного лазерного нагрева описана в [8], а также в [11].

После проведения рекристаллизации слои антиотражающего окисла и молибдена стравливаются.

Исследования показали, что РПК, сформированная косвенным лазерным нагревом, обладает высокими электрофизическими параметрами.

Исследовались параметры p — n -переходов, сформированных в РПК n -типа проводимости с удельным сопротивлением 2 Ом·см. Анализ распределения концентрации примесей, проведенный с помощью зондовых измерений (рис. 2), показал высокое качество p — n -перехода.

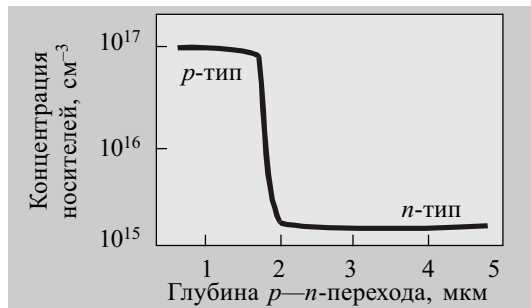


Рис. 2. Распределение концентрации носителей в p — n -переходе, сформированном в РПК

Коэффициент неидеальности вольт-амперной характеристики p — n -перехода в РПК составлял 1,2. Пробивные напряжения при токе утечки 1 мкА составляли примерно 35 В. Коэффициент усиления тока β , как известно, зависит от параметров эмиттерной и базовой областей и определяется по формуле

$$\beta = \frac{\rho_B L_{nE}}{\rho_E X_B} \quad (3)$$

где ρ_B и ρ_E — удельные сопротивления базовой и эмиттерной областей;

L_{nE} — диффузионная длина электронов в эмиттерной области;

X_B — толщина базового слоя.

Изменение этих величин в процессе лазерного отжига отражается на значении коэффициента усиления по току.

Из профилей распределения концентрации примесей рассчитывали удельное сопротивление эмиттерного слоя ρ_E , а на основе этого — и коэффициент усиления β , величина которого соответствовала значениям контрольных p — n -переходов, изготовленных в монокристаллических участках пластины КЭФ-2 в едином технологическом цикле.

Использование лазерной технологии позволяет создать в РПК различные чувствительные элементы, схемы преобразования сигналов которых могут располагаться в нижнем слое подложки. Нами в РПК был изготовлен датчик Холла (ДХ), что дало возможность повысить его надежность и уменьшить общую площадь магниточувствительной ИС по сравнению с ранее разработанной твердотельной магнитоконмутируемой ИС [12].

Если в РПК изготовить дискретные ДХ, то ввиду отсутствия в них изолирующих p — n -переходов температурный диапазон работы ДХ расширяется до 250°C. Использование полной диэлектрической изоляции с естественным стоп-слоем в виде скрытого слоя позволило защитить прибор от паразитных эффектов со стороны соседних элементов, а также получить малую толщину пленки, что повысило его магниточувствительность до значения 40 мкВ/мА·Гс, которое не уступает лучшим образцам известных ана-

логов, изготавливаемых по традиционной технологии. Измерения подвижности носителей заряда, проведенные с помощью эффекта Холла, дали значения порядка $700 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, что находится на уровне значения подвижности в монокристаллических пленках соответствующей толщины.

Проведенные исследования и полученные результаты показывают перспективность использования лазерной технологии для создания функциональных микросхем, чувствительные элементы и схемы преобразования сигналов которых располагаются на разных уровнях — в рекристаллизованной изолированной пленке и подложке.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Агеев О. А., Светличный А. М., Кочеров А. Н. Влияние геометрии установки БТО на равномерность облученности пластин диаметром 100 мм // Труды 7-й междунар. НТК "Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники". Ч. 1.— Таганрог—Дивноморское.— 2000.— С. 68—69.
2. Пилипенко В. А., Попов Ю. П. Использование фотонных технологических процессов при изготовлении биполярных интегральных микросхем // Электронная промышленность.— 1988.— Вып. 5.— С. 3—9.
3. Paustovsky A. V., Sheludko V. E. Use of laser technology for modification of material properties // Functional Materials (Kharkiv).— 1999.— Vol. 6, N 5.— P. 964—976.
4. Королев М. А. Проблемы создания трехмерных СБИС // Материалы электронной техники.— М.: МИЭТ.— 1986.— С. 126—131.

5. Королев М. А., Шумский И. А. "Интеллектуальные" измерительные микросистемы на основе структуры кремний-на-изоляторе // Известия вузов. Электроника.— 1998.— № 5.— С. 34—38.

6. Королев М. А., Касимов Ф. Д., Исмаилова С. А., Гусейнов Я. Ю. Изготовление приборов в рекристаллизованной лазерным излучением пленке поликристаллического кремния // Труды 3-й междунар. НТК "Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе".— Баку—Сумгаит, 2001.— С. 85.

7. Yehuda Zeiri. Laser induced thermal desorption // J. of Chemical Physics.— 1988.— Vol. 88, N 6.— P. 3981—3987.

8. Королев М. А., Молоствов А. Н., Хохлов М. В. Исследование особенностей рекристаллизации поликремниевых пленок под воздействием лазерного излучения // Электронная техника. Сер. Микроэлектроника.— 1986.— № 1.— С. 81—84.

9. Полупроводниковые формирователи сигналов изображения // Под ред. П. Йесперса.— М.: Мир, 1979.

10. Касимов Ф. Д. Физические свойства и функциональные возможности локально выращенных пленок моно- и поликристаллического кремния // Тез. докл. 12-й Всесоюз. конф. по микроэлектронике. Ч. 2.— Тбилиси, 1987.— С. 175—176.

11. Глазов В. М., Королев М. А., Тадевосян С. Г. Исследование и разработка метода косвенного лазерного нагрева для создания трехмерных КМДП ИС ЗУ // Тез. докл. Всесоюз. конф. "Исследование и разработка перспективных ИС памяти".— Москва, 1986.— С. 47.

12. Kasimov F. D., Ismailov N. M., Kasimova F. F. High magnetic sensitivity integrated circuit on the base of Hall-effect sensor // Functional Materials (Kharkiv).— 1998.— Vol. 5, N 1.— P. 138—139.

ВЫСТАВКИ. КОНФЕРЕНЦИИ. СИМПОЗИУМЫ

II промышленная специализированная выставка Электронные компоненты и комплектующие, материалы, печатные платы, конструктивы, технологии, РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

оборудование, разработки, продукция,
сертификация, сервис
2002 г.
19—22 ноября
Санкт-Петербург



Пр. Гагарина, 8
Петербургский СКН
Т/ф. (812) 1183537, 2303116
E-mail: radel@orticon.com,
it@mailbox.alkor.ru
Http: [//www.orticon.com/radel.html](http://www.orticon.com/radel.html)
[//www.alkor.ru/~00071800](http://www.alkor.ru/~00071800)