

ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.382.002

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ПРОЕКЦИОННОЙ ФОТОЛИТОГРАФИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ
СИЛОВЫХ БИПОЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ**Ю.О. КОРОБКО¹, А.П. ДОСТАНКО¹, А.С. ТУРЦЕВИЧ²¹*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь;*²*Республиканское унитарное предприятие "Завод Транзистор"
ул. Корженевского, 16, Минск, 220064, Беларусь**Поступила в редакцию 13 мая 2004*

Для устранения эффекта снижения контрастности знаков совмещения в результате зарастания лунки при химическом осаждении пленки из газовой фазы предложено проводить формирование дополнительных знаков совмещения по эпитаксиальному слою. С целью увеличения точности определения ухода линейных размеров элементов в слое сформированной структуры, либо рассовмещения элементов, расположенных в различных слоях относительно друг друга, предлагается введение нониусов — специально разработанных тестовых элементов, представляющих собой набор парных клинообразных элементов с равномерно увеличивающейся шириной перемычки по ряду. Описана методика применения данного теста и полученные при его использовании результаты.

Ключевые слова: проекционная фотолитография, точность, знаки совмещения, визуальный контроль.

Введение

Силовая микроэлектроника — ключ к новым энергосберегающим технологиям [1–3]. Динамичное развитие силовой микроэлектроники обуславливает необходимость использования проекционной фотолитографии в производстве силовых биполярных интегральных схем. Качество технологического процесса зависит от точности совмещения последующих слоев. В свою очередь, точность совмещения слоев обусловлена размерами и контрастностью знаков совмещения, формой знаков, а также сохранностью этих характеристик в процессе технологических обработок подложки.

Знак совмещения установок проекционной печати ЭМ584А представляет собой 11 темных (светорассеивающих или светопоглощающих) линий, которые изготавливаются в виде набора лунок с помощью анизотропного плазмохимического травления глубиной 3,0–5,0 мкм и линейными размерами 2,8–3,2 мкм (рис. 1).

Для обеспечения высокого контраста плоское дно лунки, видимое в микроскопе как светлая точка, должно иметь минимальный размер, который не должен превышать 1/4 размера лунки. Кроме того, глубина лунок должна быть такой, чтобы при последующих технологических операциях формирования функциональных слоев, обеспечивалось сохранение профиля лунки.

Критерии пригодности знака совмещения на всех этапах технологического процесса следующие:

контраст сигнала не менее 20 %;

отношение амплитуды полезного сигнала к амплитуде паразитного сигнала — не менее 1,3.

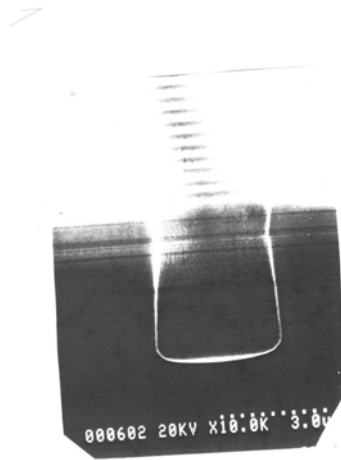


Рис. 1. Изображение лунки знака совмещения установки проекционной печати ЭМ584А в кремниевой пластине

Результаты и обсуждение

При создании силовых биполярных схем при толщине эпитаксиального слоя более 4,5 мкм контрастность знаков совмещения резко ухудшается из-за зарастания лунки (рис. 2, в, г), так как при химическом осаждении из газовой фазы рост пленки осуществляется на всех поверхностях, включая дно и боковые стенки лунок знаков совмещения, куда проникает парогазовая смесь.

Для устранения этого эффекта было предложено проводить формирование дополнительных знаков совмещения по эпитаксиальному слою. При этом маршрут формирования знаков совмещения выбран следующий:

формирование "знаков совмещения" на установке проекционной печати ЭМ584А;

создание n^+ и p^+ скрытых слоев;

наращивание эпитаксиального слоя 13,5 КЭФ 3,2 на установке ЭПИКВАР-101 методом восстановления тетрахлорида кремния водородом при температуре 1455 ± 10 К;

создание промежуточных "знаков совмещения -2" по фоторезисту на установке контактной печати ЭМ576А с привязкой к "знакам совмещения -1";

печать "знаков совмещения -3" в режиме совмещения по проявленным промежуточным "знакам совмещения -2" на установке проекционной печати ЭМ584А с последующим плазмохимическим травлением SiO_2 и Si;

проведение последующих фотолитографий с совмещением слоев по "знакам совмещения -3".

Расположение "знаков совмещения -3" на пластине относительно исходных знаков совмещения представлено на рис. 2.

Фотошаблон промежуточных "знаков совмещения -3" имеет знаки совмещения установки проекционной печати ЭМ584А и метки совмещения, по которому идет привязка новых знаков совмещения ЭМ584А.

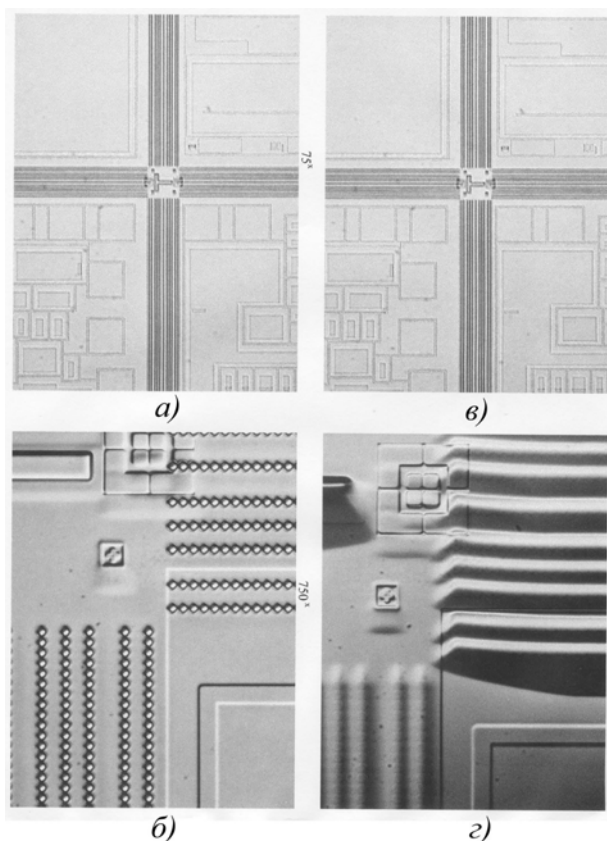


Рис. 2. Вид в плане знаков совмещения установки ЭМ584А после наращивания эпитаксиального слоя толщиной в 13,5 мкм (в,г) и после формирования новых знаков совмещения по эпитаксиальному слою (а,б): а,в) при увеличении 75 крат; б,г) при увеличении 750 крат

Для снижения дефектности по фоторезисту с промежуточными "знаками совмещения –2" проводится проекционная фотолитография "знаки совмещения –3". В ходе данной работы решена проблема совмещения координатных систем ЭМ584А и ЭМ5062 для устранения растяжки фотошаблона установки контактной печати ЭМ576А для изготовления промежуточных "знаков совмещения –2". Данный подход реализован на ряде микросхем, в том числе К1242 ЕР1.

При этом знаки совмещения, сформированные после наращивания эпитаксиального слоя кремния, обладают достаточным контрастом для использования на установках проекционной печати, что позволяет реализовать, несмотря на повышенную трудоемкость перевод изготовления силовых биполярных схем на проекционную фотолитографию и, как следствие, реализуется возможность перехода на изготовление структур силовых биполярных микросхем с проектной нормой 1,5–2 мкм. Результаты контроля вольт-амперных характеристик тестовых элементов и функционирования кристаллов на контрольной партии микросхемы К1242 ЕР1, изготовленной данным способом, представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1. Параметры ВАХ тестовых элементов микросхемы К1242 ЕР1

№ пластины	<i>n-p-n</i> транзистор		<i>p-n-p</i> транзистор		$R_{б}$, кОм	$R_{э}$, Ом	$R_{к}$, кОм
	B_n^*	$U_{кэ}$, В	B_p	$U_{кэ}$, В			
10	80	55	42	57	2,15	52	13,8
18	98	50	41	57	2,15	46	12,5
15	100	50	42	58	2,1	48	12,7
17	100	50	41	56	2,2	47	12
14	96	49	41	56	2,15	46	13,8

*В — коэффициент усиления по току.

Таблица 2. Результаты контроля функционирования кристаллов микросхемы К1242ЕР1

№ пластины	Годных кристаллов	% выхода	U_{ref0}^* , В	СКО**, В	Норма по U_{ref1}^{***} - после подгонки резисторов, В
10	9740	84	2,466	0,018	2,477-2,513
18	9450	81,5	2,456	0,023	
15	9800	84,5	2,458	0,017	
17	9840	84,8	2,468	0,017	
14	9990	86,1	2,463	0,015	

* U_{ref0} — напряжение исходное; **СКО — среднеквадратичное отклонение, *** U_{ref1} — напряжение после подгонки.

Кроме того, для уменьшения погрешности измерений было предложено введение нониусов — специально разработанных тестовых элементов (рис. 3), позволяющих визуально, без проведения специальных измерений, определить уход размеров элементов в слое либо размещение элементов, расположенных в различных слоях относительно друг друга.

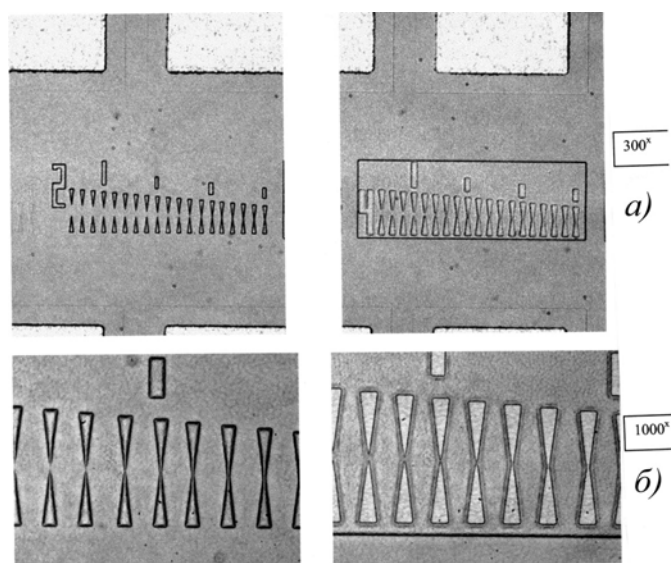


Рис. 3. Внешний вид нониусов – тестов визуального контроля ухода линейных размеров: а) при увеличении 300 крат; б) при увеличении 1000 крат

Как видно из рис. 3, тест визуального контроля представляет собой набор парных клинообразных элементов с равномерно увеличивающейся шириной перемычки вправо по ряду. Принцип действия данного теста основан на том, что для структуры в виде остроугольного треугольника боковой уход размера на 0,1 мкм приводит к размыканию встречно расположенных углов треугольников на 1–2 мкм, что значительно облегчает контроль и увеличивает точность определения ухода размеров. Данный тест менее чувствителен к фокусировке и разрешающей способности установок, удобен в применении и имеет точность в определении размера порядка 0,1 мкм.

Контроль величины ухода линейного размера элемента сформированной структуры по нониусу на контрольной пластине осуществляется следующим образом. Определяется, какая пара элементов нониус-теста разомкнута (а следующая за ней пара элементов сомкнута) под микроскопом с увеличением 200 или 500 крат. По справочной таблице соответствия ухода размеров на данном слое для разомкнутых пар нониусов определяется, соответствует ли уход размеров норме или нет. Если уход размеров находится в требуемом диапазоне, то режим экспонирования выбран правильно (см. таблицу 3), в противном случае производится его корректировка.

Из представленных данных видно, что применение предложенной методики визуального контроля ухода величины линейного размера элементов структуры интегральных микросхем по специально разработанным тестам визуального контроля позволяет обеспечить оперативный

контроль процесса фотолитографии и требуемую точность совмещения при создании структур силовых биполярных микросхем, а также решает проблему перевода технологии изготовления силовых биполярных интегральных микросхем на проекционную фотолитографию.

Таблица 3. Соответствие ухода размера и показаний по нониусу для установки ЭМ584А на тестовой матрице

Слой	Экспозиция, отн. ед.	Контроль по нониусу, мкм	Полученный размер при помощи РЭМ* для элемента 2,0 мкм	Уход от номинала, мкм
Резистор	1	-0,05	2,13	+0,13
	1,21	0	2,01	+0,01
	1,42	0,1	1,89	-0,11
	1,64	0,15	1,85	-0,15
	1,86	0,2	1,78	-0,22

*РЭМ — растровый электронный микроскоп.

Заключение

Использование установок проекционной печати, позволяющих читать парные знаки совмещения, расположенные как на планарной, так и на обратной стороне кремниевой подложки, на которую осаждение эпитаксиального слоя не происходит, позволяет снизить трудоемкость процесса проекционной фотолитографии при изготовлении силовых биполярных интегральных микросхем.

PECULIARITIES OF PROJECTION PHOTOLITHOGRAPHY APPLICATION IN POWER BIPOLAR MICROCIRCUITS PRODUCTION

Y.O. KOROBKO, A.P. DOSTANKO, A.S. TURTSEVICH

Abstract

For the elimination of the decrease effect of alignment marks visibility as a result of hole reduction during chemical vapor deposition it is suggested forming additional alignment marks on the epitaxial layer. With the purpose of the increasing of accuracy in definition of linear sizes of elements change in a formed structure or shifting of element located in different layer it is proposed to introduce noniuses, that is specially designed test elements, representing a set of binary wedged shaped ones with uniformly increasing breadth of a cross connection on a series. The technique of application of the given test and obtained results are described.

Литература

1. Мецержаков В.М. // Электротехника. 1996. № 12. С. 1–3.
2. Ануфриев Л.П., Глухманчук В.В., Турцевич А.С., Рубцевич И.И. // Техника, экономика, организация. 2002. № 6. С. 26–29
3. Зубарев В.В. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 1998. № 1. С. 6–8.