

12. Филачев А. М., Сагинов Л. Д., Кононов А. С., Свиридов А. Н., Бакуменко В. Л. Спектральная фильтрация изображений с использованием явления полного внутреннего отражения // Электронный журнал "Исследовано в России". 2005. № 159. С. 1656—1671. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/159.pdf>.

13. Воронкова Е. М., Гречушников Б. Н., Дистлер Г. И., Петров И. П. Оптические материалы для инфракрасной техники. — М.: Наука, 1965.

14. Гальярди Р. М., Карп Ш. Оптическая связь. — М.: Связь, 1978.

Статья поступила в редакцию 11 октября 2006 г.

The filtering device with use of the multibeam interferometry

A. M. Filachev, L. D. Saginov, A. S. Kononov, A. N. Sviridov, V. L. Bakumenko
Orion Research-and-Production Association, Moscow, Russia

Calculation of parameters of the filtering device have been made. For a filtration of optical radiation, the multibeam interference is used. It is expected that this device can be suitable for reception of images of objects in the set narrow spectral ranges — spectral imaging (SI).

УДК 621.383.4/5

Исследование процесса формирования индиевых микроконтактов на поверхности кремниевой пластины

Н. И. Батырев, Е. О. Драчева, Е. А. Климанов, А. Р. Микертумяни, Н. Н. Серегина
ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

Приводится анализ устранения проблем, возникающих при получении индиевых контактных столбиков для стыковки кремниевых БИС с фотоприемными матрицами на основе соединений кадмий–ртуть–теллур (КРТ) [1–6]. Изучены операции базового процесса: сушка фоторезиста, получение слоев индия на кремниевой структуре, травление слоев индия. Показан базовый технологический процесс, в результате проведения которого на стыковочной поверхности образуются дефекты в виде вздутий в окрестности контактного столбика.

Как показал теоретический анализ и последующие практические результаты, причина образования вздутий в окрестности контактного столбика заключается в том, что в процессе сушки структуры (рис. 1, а) не происходит полного удаления растворителя из слоя фоторезиста, так как в условиях относительно равномерного распределе-

ния температуры по толщине структуры фоторезист уплотняется у поверхности, что препятствует полному выходу растворителя. В дальнейшем расширение растворителя под действием температур задубливания и напыления индия приводит к образованию вздутий (рис. 2).

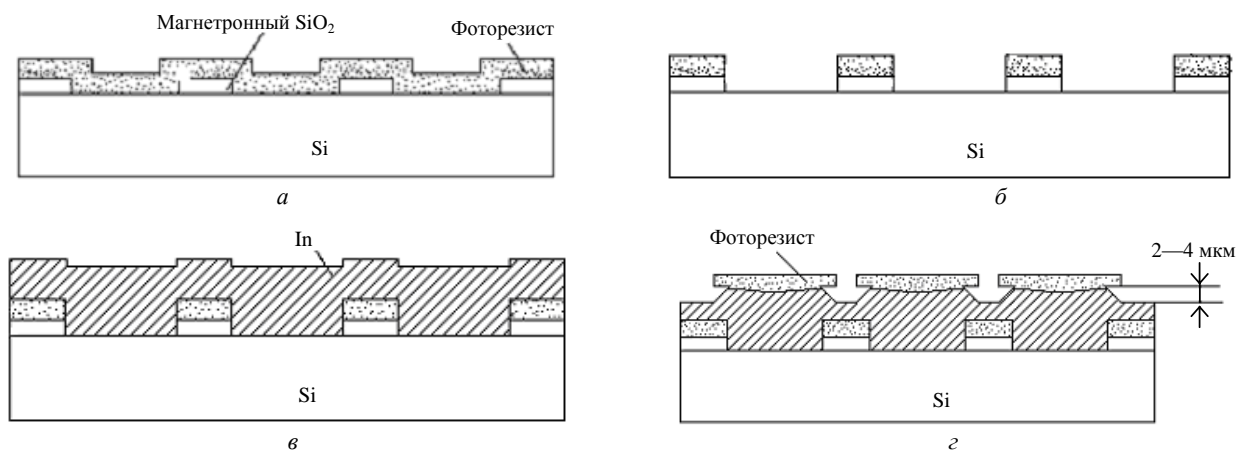


Рис. 1. Схема получения индиевых контактных столбиков на кремниевой пластине: а — сушка фоторезиста в термостате (100 °С, 60—120 мин); б — проявление фоторезиста, задубливание; в — напыление индия; з — фотолитография по слою In (1-я стадия травления индия)

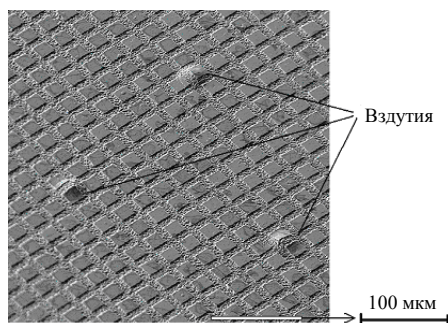


Рис. 2. Топология стыковочной поверхности с индиевыми столбиками

Для устранения дефектов стыковочного рельефа сушка в термостате была заменена на сушку в градиенте температур (метод "горячего столика") (рис. 3). При таком способе сушки уплотнение фоторезиста идет в направлении от кремниевой пластины к поверхности структуры, что обеспечивает полное удаление растворителя через рыхлый слой фоторезиста.

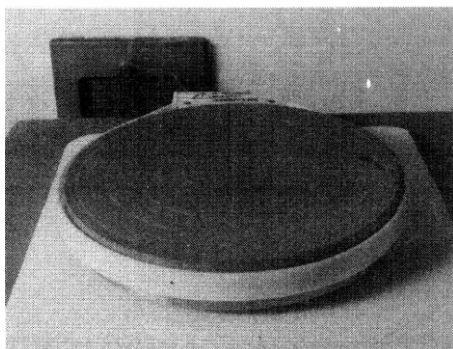


Рис. 3. Горячий столик Я2МЗ.031.260

Результаты исследования процесса сушки фоторезиста представлены в табл. 1 и на рис. 4.

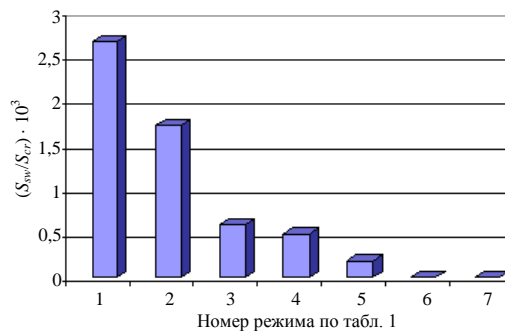


Рис. 4. Гистограмма, иллюстрирующая влияние режимов сушки фоторезиста марки Sp-16 на наличие в нем остатков растворителя

За критерий оценки бездефектности индиевых столбиков было принято отношение суммарной площади вздутий к площади поверхности кристалла. Площадь вздутия определяли как площадь круга, площадь кристалла (10×10 мм) составила 10⁸ мкм. Из табл. 1 и рис. 4 видно, что режимы 6 и 7 обеспечивают получение бездефектной стыковочной поверхности БИС-структуры.

Слои индия получали методами термовакуумного напыления на установке ВУП-5. Базовый режим предполагает напыление слоев в одну стадию (табл. 2), при этом образуются слои с крупнозернистой структурой и малой шириной канавок между зернами (рис. 5).

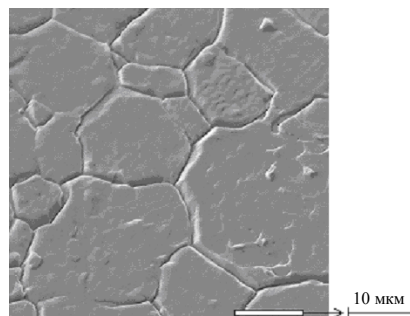


Рис. 5. Топология поверхности индиевого слоя, полученного в одностадийном процессе

Таблица 1

Условия и результаты сушки фоторезиста

Номер режима	Метод сушки	Температура, °С	Время, мин	Количество вздутий на кристалле, шт.	Размер вздутий, мкм	Средний размер вздутий, мкм	Суммарная площадь вздутий $S_{sw} \cdot 10^{-5}$, мкм ²	Отношение $(S_{sw}/S_{cr}) \cdot 10^3$
1	В термостате	100	60	18	36,4—490,8	138,0	2,6	2,6
2	Там же	100	120	12	53,2—241,2	136,7	1,7	1,7
3	На горячем столике	105	1	14	37,2—113,6	73,1	0,6	0,6
4	Там же	105	2	13	28—168,8	69,9	0,5	0,5
5	"	105	3	3	28,8—269,6	88,3	0,2	0,2
6	"	110	5	0	—	—	0	0
7	"	120	3	0	—	—	0	0

Таблица 2

Условия и результаты термовакuumного напыления слоев индия на поверхность кремниевой структуры

Номер режима	Стадийность процесса	Температура	Время напыления, мин		Толщина слоя индия, мкм	Скорость напыления, мкм/мин	Размер зерен, мкм	Средний размер зерен, мкм
			I стадия	II стадия				
1	Одностадийный	T_5	37	—	8,8	0,24	9—17,4	13,3
2	Двухстадийный	T_5	22	18	9	0,23	4,3—45,8	11,5
		T_5						
3	"	T_4	19	19	8,5	0,22	5,2—17,6	10,5
		T_4						
4	"	T_3	20	18	6,5	0,17	4,5—23,3	9,7
		T_3						
5	"	T_2	27	29	7	0,12	3,3—22,9	8,3
		T_2						
6	"	T_1	43	53	8	0,08	3—14,4	7,6
		T_1						

Примечание. $T_1 < T_2 < T_3 < T_4 < T_5$.

При фотолитографии удаление фоторезиста с такой поверхности слоя индия затруднено, так как фоторезист остается в канавках и препятствует травлению индия (увеличивается время травления). Для решения этой проблемы был исследован двухстадийный процесс напыления индия, при этом напыление прерывали на 20 мин. В течение времени прерывания атмосфера реактора сообщалась с внешней средой, и происходило охлаждение структуры. Результаты исследования представлены в табл. 2 и на рис. 6, 7.

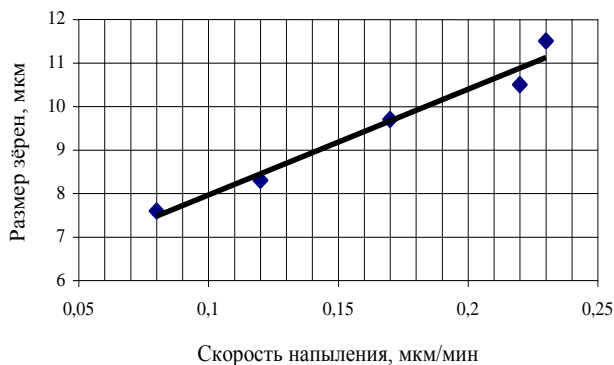


Рис. 6. Зависимость среднего размера зерен слоя индия от скорости напыления для двухстадийного процесса

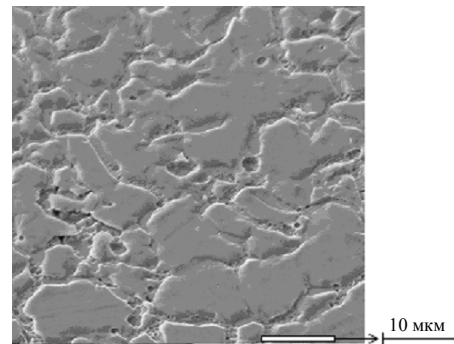


Рис. 7. Топология поверхности индиевого слоя, полученного в двухстадийном процессе (табл. 2, режим 5)

Из рис. 6 и 7 видно, что с уменьшением скорости напыления уменьшается размер зерен в структуре слоев, при этом ширина канавок между зернами увеличивается (см. рис. 7).

Травление слоя индия в целях формирования контактных столбиков заданной геометрии осуществляли в две стадии. По сравнению с одностадийным двухстадийное травление позволяет уменьшить величину бокового подтравливания проводящего слоя (между стадиями травимый слой защищают дополнительно фоторезистом) и тем самым повысить точность процесса. В табл. 3 и на рис. 8 приведены результаты травления слоев индия.

Таблица 3

Условия и результаты травления индиевых слоев при формировании контактных столбиков

Номер режима	Средний размер зерен, мкм	1-я стадия			2-я стадия		
		Время травления, с	Толщина стравленного слоя, мкм	Скорость травления, мкм/с	Время травления, с	Толщина стравленного слоя, мкм	Скорость травления, мкм/с
2	11,5	70	4	0,06	110	5	0,045
3	10,5	50	4	0,08	100	5	0,050
4	9,7	45	3	0,07	130	0	0
5	8,3	35	4	0,11	120	0	0
6	7,6	45	3,5	0,08	90	4,5	0,05
7	6,1	45	4	0,09	90	5	0,055
8	4,8	45	3,5	0,08	75	6	0,08

Примечание. Режимы 6–8 относятся к слоям индия, полученным при времени прерывания процесса напыления, равным 10 мин.

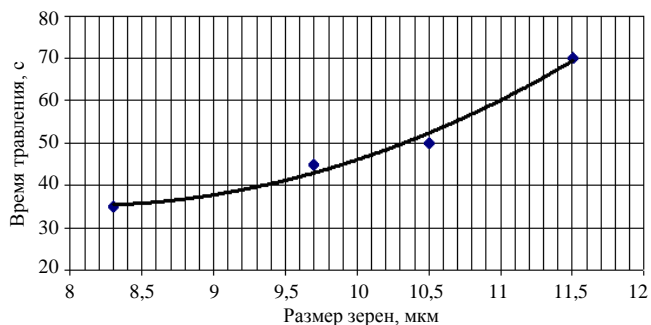


Рис. 8. Зависимость времени первой стадии травления от размера зерен слоя индия

Полученные результаты показывают, что производительность процесса травления индиевых слоев растет с уменьшением размера зерен. Такая закономерность оказалась справедливой для 1-й стадии травления. На 2-й стадии, как видно из табл. 3, процесс травления проходил с меньшими скоростями или вовсе прекращался (см. режимы 4, 5) до формирования контактного столбика. Препятствием к окончанию формирования микроконтактов явилось образование окисной пленки In_2O_3 внутри слоя индия во время прерывания процесса напыления. Чтобы предупредить окисление поверхности индиевого слоя во время прерывания напыления, время прерывания было сокращено с 20 до 10 мин. Как показали последующие эксперименты, процесс травления на 2-й стадии нормализовался (см. табл. 3, режимы 6—8), и были получены сты-

ковочные рельефы, удовлетворяющие предъявляемым требованиям.

Заключение

Выявлены технологические режимы ответственных за формирование индиевых контактных столбиков операций, обеспечивающие требуемый рельеф для стыковки кремниевых БИС с фотопримными матрицами на основе КРТ.

Литература

1. Jutao Jiang, Stanley Tsao, Thomas O'Sullivan, Manijeh Razeghi, Gail J. Brown. Fabrication of indium bumps for hybrid FPA applications// Infrared Physics & technology. 2004. P. 143—151.
2. Клименко А. Г., Воинов В. Г., Новоселов А. Р., Недосекина Т. Н., Васильев В. В., Захарьяш Т. И., Овсяк В. Н. Особо пластичные индиевые микростолбы для матричных ФПУ на CdHgTe. — Новосибирск: Российская академия наук, сибирское отделение метрология. 1998. — 10 с.
3. Kim Y.-H., Choi J.-H., Choi K.-S., Lee H. C., Kim C.-K. New reflow Process for Indium Bump// Proc. SPIE. 1997. P. 60—67.
4. Нестеров Д. В. Получение и соединение индиевых микроконтактов в изделиях микроэлектроники: Автореф. ... дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. — М., 2004.
5. Tissot J. L., Marion F. Collective flip-chip technology for IRFPA: Proc. SPIE. 1996. P. 115—122.
6. Разработка базового технологического процесса формирования матричной системы индиевых микроконтактных столбиков на МОЧЭ из КРТ и охлаждаемых кремниевых ИС предварительной обработки сигнала методом свободных масок: Науч.-техн. отчет по ОКР. — ГУП "НИИТАП". 2002. — 40 с.

Статья поступила в редакцию 20 сентября 2007 г.

Investigations of indium bump fabrication processes on silicon wafers

N. I. Batyrev, E. O. Dracheva, E. A. Klimanov, A. R. Michertumeynz, N. N. Seregina
Orion Research-and-Production Association, Moscow, Russia

Indium bumps fabrication processes based on evaporation and positive photolithography are developed. Process parameters are discussed. These techniques are used for flip-chip bonding technology fabrication HgCdTe FPAs.

* * *