

УДК 621.315.5

Модификация поверхности напыленных слоев индия в процессах ионного травления

М.В. Седнев, Е.Н. Зубкова, Ю.П. Шаронов

В работе исследованы процессы и результаты ионного травления предварительно напыленных слоев индия для создания индиевых микроконтактов.

PACS: 42.70.Nq.

Ключевые слова: ионно-лучевое травление, микроконтакт, фоточувствительный элемент, In, Si.

Введение

Изготовление индиевых микроконтактов осуществляется различными способами, каждый из которых имеет свои недостатки в применении к технологии их формирования при промышленном выпуске фотоприемных матриц. Наибольшие трудности возникают с уменьшением расстояния между элементами менее 30 мкм и высоте микроконтактов 8–10 мкм. Перспективным методом изготовления микроконтактов является травление ионами инертного газа Ar. [1, 2]. Он позволяет воспроизводить с высокой точностью размеры маски фоторезиста, нанесенной на поверхность, что обеспечивает решение проблем, возникающих при создании массивов микроконтактов с шагом менее 30 мкм, так как процесс травления идет анизотропно в направлении падения ионов рабочего газа. При этом площадь массивов ограничена лишь размером и однородностью поля ионного потока, а также стандартом фотолитографического оборудования.

Целью данной работы являлось исследование процессов и результатов ионного травления напыленных слоев индия для создания индиевых микроконтактов.

Экспериментальные результаты

В работе были использованы пластины кремния, прошедшие стандартные технологические операции химической очистки поверхности.

Слой индия толщиной 8–10 мкм напыляли испарением при остаточном давлении в ваку-

умной камере $2 \cdot 10^{-4}$ Па со скоростью осаждения 1 мкм/мин. В этих режимах поверхность индия зеркальна, шероховатость не превышает 40 нм. Однако в темном поле микроскопа на поверхности наблюдаются светящиеся точки размером около 1 мкм, расположенные с плотностью $(1-2) \cdot 10^4$ см⁻². Пленки индия имеют поликристаллическую структуру с размером зерен 5–20 мкм. В темном поле под микроскопом видны светящиеся границы. Степень черноты поверхности кристаллитов различна. Часть из них практически не рассеивает падающий свет (темные кристаллиты).

Травление поверхности индия ионами аргона выполняли на установке ионно-лучевого травления с источником Кауфмана. Давление остаточной среды не более 10^{-4} Па. Для формирования конфигурации элементов (контактов) при травлении слоя индия в качестве защитной маски использовали фоторезист, подвергнутый стандартной фотолитографической обработке.

Распыление слоя индия толщиной 8 мкм ионами аргона с энергией ~1 кэВ и плотностью потока 0,2 мА/см² выполняли в двух последовательных процессах.

В первом процессе напыленный слой индия травил ионами аргона на глубину 4 мкм. После этого удаляли фоторезист и измеряли глубину травления индия по пластине. На рис. 1 представлены результаты измерения глубины травления по диаметру пластины.

Скорость травления составляла 4 мкм/час в центре пучка и монотонно убывала в направлении края. Для определения распределения относительной мощности ионного пучка использовался подвижный датчик ионного тока. Измеряемые значения ионного тока фиксировались самописцем. При сравнении распределений относительной скорости травления индия по диаметру пластины и относительной

Седнев Михаил Васильевич, начальник участка.
Зубкова Елена Николаевна, инженер.
Шаронов Юрий Павлович, вед. инженер-технолог.
ОАО «НПО «Орион»,
Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2.
E-mail: orion@orion-ig.ru

Статья поступила в редакцию 20 февраля 2013 г.

© Седнев М.В., Зубкова Е.Н., Шаронов Ю.П., 2013

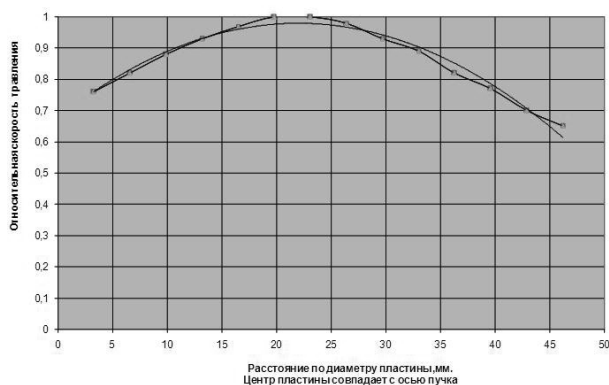


Рис. 1. Распределение относительной скорости травления индия по сечению ионного пучка.

мощности ионного пучка по его сечению установлено их совпадение.

Во втором процессе пластину со слоем индия травили, практически, до полного распыления индия в промежутках маски фоторезиста. На рис. 2 представлены фотографии поверхности участков второй пластины после распыления ионами аргона. Рис. 2, а соответствует фотографии участка края пластины, где индий протравлен на глубину 5–6 мкм. На поверхности индия видны границы поликристаллов, линейный размер которых составляет 10–20 мкм. Скорость травления на границах меньше, о чем свидетельствуют фотографии поверхности после распыления индия до основы (рис. 2, б, в). После распыления слоя индия на поверхности пластины остаются скопления черных точек размером 1–3 мкм. По данным, представленным в

работах [2, 3], это конусообразные микрообъемы индия сложного состава. Высота конусов колеблется в пределах толщины напыленного слоя индия (рис. 2, г).

На рис. 2, в показана фотография участка центра пластины, где скорость травления была максимальной. На рис. 2, б представлена фотография участка переходной области, на которой из-за неравномерности ионного тока остаются фрагменты недотравленного слоя индия. Размеры областей оставшегося после травления индия (светлые пятна неправильной формы) увеличиваются в направлении края пучка. Наличие таких областей может свидетельствовать о различии скоростей травления кристаллитов.

С увеличением времени травления конусообразные остатки индия распыляются до полного исчезновения, однако при этом разрушается край маски фоторезиста (рис. 3)

Обсуждение результатов

После ионно-лучевого травления слоя индия через маску фоторезиста по истечении необходимого времени (время = толщина/скорость травления) на поверхности пластины остаются области нестранившегося индия. Причиной этого могут являться загрязнения (частицы, окислы, неконтролируемые остатки фоторезиста и другие неоднородности поверхности), которые появляются в процессах подготовки

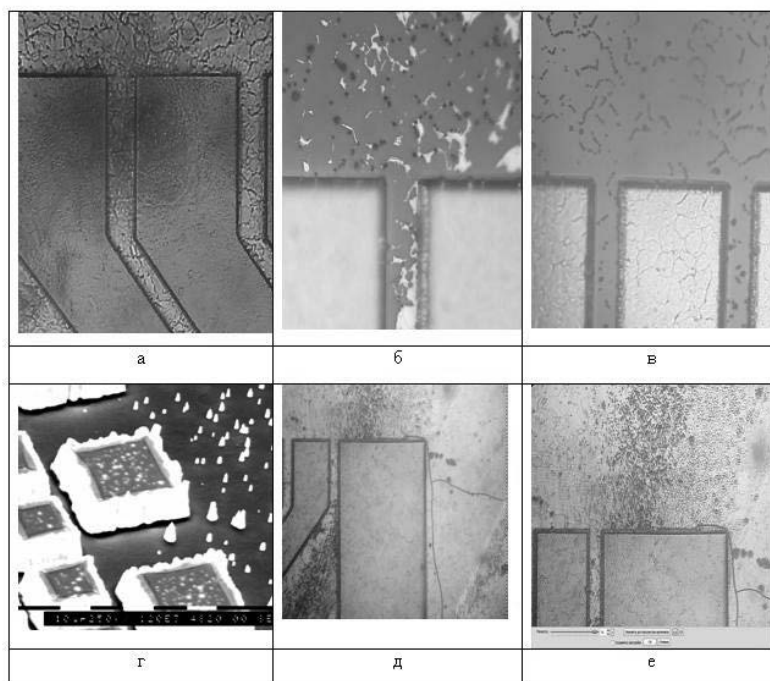


Рис. 2. Фотографии поверхности индия на различных этапах травления ионами аргона, маска-фоторезист.

- а. Фото поверхности индия после стравливания 5–6 мкм. Ширина промежутка в маске 25 мкм
 б. Фото поверхности пластины с остатками слоя индия. Ширина промежутка в маске 25 мкм
 в. Фото поверхности после стравливания индия (8 мкм). Ширина промежутка в маске 25 мкм
 г. Фото поверхности индия после стравливания 8 мкм. Толстый фоторезист, валик.

пластины к напылению, фотолитографической обработки перед ионным травлением или межоперационной транспортировки пластины. Эти загрязнения ведут себя в процессе ионного травления подобно маске фоторезиста, закрывая участки индия от ионной бомбардировки. Кроме этого, в работах [2, 3] методами электронной растровой микроскопии, микроанализа и фотографированием поверхности установлено [3] образование и развитие рельефа на исходной поверхности напыленного индия после ионно-лучевого и катодного травления. Также показано, что причинами, обуславливающими это, являются: – микрокристаллическая структура напыленного слоя индия, с присущими ей границами зерен; – переосаждение материалов, участвующих в процессе ионно-лучевого травления (подложкодержатель, элементы крепления обрабатываемого образца). Причем, методом рентгеновского микроанализа установлено, что границы зерен индия проявляют геттерирующие свойства, так как на них образуются области сложного состава. Эти образования обладают значительно меньшей скоростью распыления.

Особенностью ионного распыления индия является значительное (в 3–20 раз) превышение скорости травления по сравнению с большинством других материалов и, в частности, фоторезиста. Поэтому даже неконтролируемые визуально в микроскоп остатки продуктов фотолитографического процесса на поверхности индия или неоднородного воздействия на нее могут привести к увеличению шероховатости в процессе распыления такой поверхности ионами. На рис. 4 представлена фотография фрагмента поверхности после ионно-лучевого травления индия через маску фоторезиста. На фотографии видны участки:

1. слева – маска проявлена полностью на всю толщину,

2. справа – в этом месте слой фоторезиста имеет клиновидное утолщение (валик). В области валика проявление слоя фоторезиста осуществляется лишь на глубину, обусловленную дозой облучения, выбранной при проведении данной фотолитографической операции. Поэтому толщина слоя фоторезиста в области валика монотонно стремится к нулю на расстоянии, сравнимом с размером элементов, представленных на фотографиях,

3. центр – клиновидная переходная область тонкого фоторезиста. В переходной области видны скопления черных точек и серые пятна неправильной формы.

При распылении индия осаждение его на отвесные стенки, маскирующее поверхность фрагментов, может приводить к образованию выступов (рис. 2, г), таким образом увеличивая высоту микроконтакта. В случае пологого и неровного края фоторезиста, что бывает на толстых масках (3–4 мкм), процесс распыления несколько сложнее. На рис. 5, а, б представлены фотографии поверхности индия с квадратными элементами маски фоторезиста (шаг структуры 30 мкм) после выполнения компьютерной операции «вычисление краев». Видны контуры основания и верха элементов маски. Линии контура, особенно основания, неоднородные, с изломами. Ширина области с изменяющейся толщиной фоторезиста (краевой клин) составляет 3,5 мкм. В процессе травления индия с таким краем маски на границе существуют точки преимущественного осаждения, в которых скорость осаждения больше скорости распыления и, соответственно, образование выступов над поверхностью обрабатываемого слоя. Одновременно с индием распыляется материал маски,

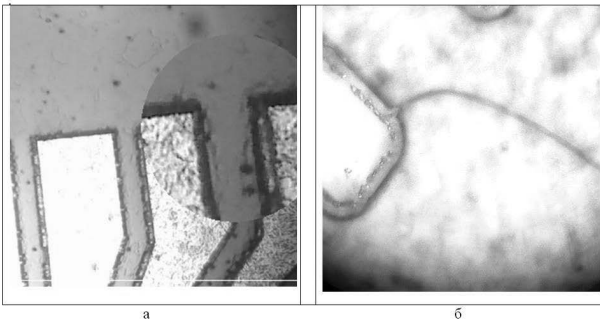


Рис. 3. Разрушение края маски фоторезиста при ионном травлении.

а. Фото поверхности после травливания индия (8 мкм) и дополнительного травления продолжительностью 20 мин. Ширина промежутка в маске 25 мкм

б. Трещина в маске. Фото поверхности после травливания индия (8 мкм) и дополнительного травления продолжительностью 20 мин. Ширина промежутка в маске 25 мкм

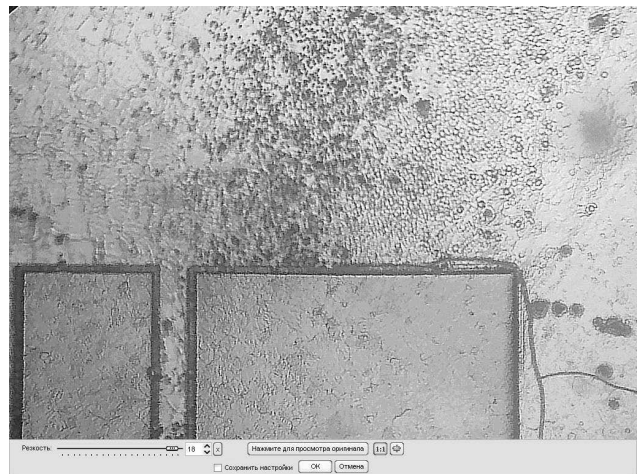


Рис. 4. Фотография фрагмента поверхности после ионно-лучевого травления индия через маску фоторезиста в области валика.

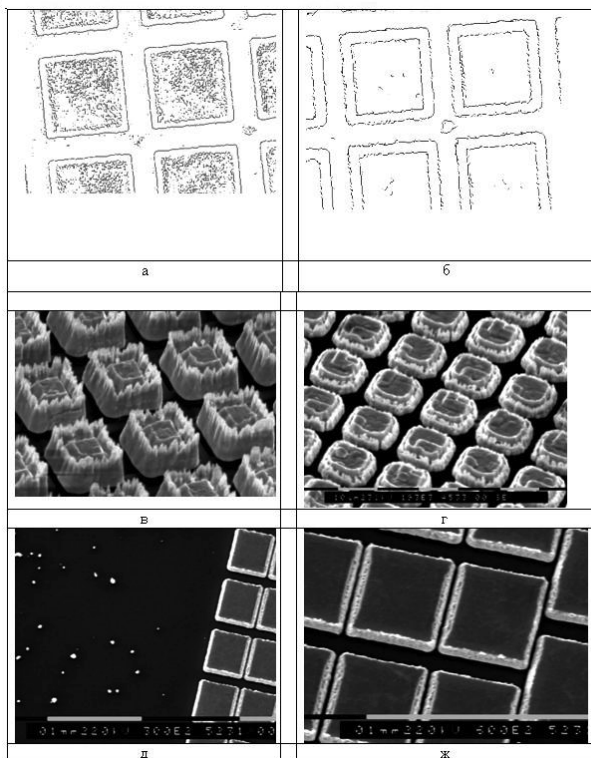


Рис. 5. Влияние профиля края маски на форму индиевых микроконтактов, формируемых в процессах ионно-лучевого травления.

а. Маска фоторезиста. Светлое поле, компьютерное «вычисление краев»

б. Маска фоторезиста. Темное поле. Компьютерное «вычисление краев»

в. Мультиплексор, шаг 30 мкм, ионное травление, высота 10 мкм

г. Мультиплексор, шаг 15 мкм, ионное травление, высота 5 мкм

д. Высота микроконтактов 8 мкм.

ж. Высота микроконтактов 8 мкм.

что вследствие наличия клина и стравливания его тонкой части приводит к уменьшению размера основания маски и, соответственно, к образованию открытой для распыления области индия между первичными выступами и новым краем фоторезиста. Зависимость коэффициента распыления от угла падения ионов [4] ускоряет механизм образования конусообразных структур вокруг микроконтактов (см. рис. 5, в, г). Формирование маски фоторезиста с оптимальными параметрами толщины и профиля края позволяет изготавливать массивы индиевых микроконтактов, представленных на рис. 5, д, ж.

Заключение

Проведенные исследования процесса ионно-лучевого травления предварительно напыленных слоев индия позволили выявить причины, приводящие к увеличению шероховатости слоев и к неоднородности создаваемых микроконтактов.

Литература

1. Бурлаков И.Д., Болтарь К.О., Седнев М.В. // Прикладная физика. 2007, № 5. С. 58
2. Седнев М.В., Болтарь К.О., Корнеева М.Д., Мезин Ю.С. Формирование индиевых микроконтактов ионным травлением. // Прикладная физика. 2011. № 1. С. 96.
3. Седнев М.В., Болтарь К.О., Мезин Ю.С. и др. // Прикладная физика. 2012. № 1. С. 90
4. Per G. Gloersen // J. Vac. Sci. Technol. 1975. V. 12. P. 28.

Modification of the surface of sprayed indium layers at the ion milling processes

M.V. Sednev, E.N. Zubkova, and Yu.P. Sharonov

Orion R&P Association
46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 111123, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

Investigated are processes of the ion milling for indium layers.

PACS: 42.70.Nq

Keywords: ion milling, microcontact, photodetector, In, Si.

Bibliography – 4 references

Received February 20, 2013