

Фотоэлектроника: элементная база и технология

УДК 621.315.5

Ионно-лучевое травление для формирования индиевых микроконтактов

А.И. Дирочка^{1,2}, Е.А. Климанов¹, Ю.С. Мезин¹, М.В. Седнев¹, Ю.П. Шаронов¹

Представлены результаты разработки процесса ионно-лучевого травления напыленных слоев индия для формирования микроконтактов. Изготовлены матрицы фоточувствительных элементов на основе InSb и кремниевых матриц считывания сигнала формата 320x256 и 640x512 с микроконтактами высотой 5-12 мкм с шагом 30, 24 и 15 мкм. Ширину промежутка, разделяющего индиевые микроконтакты, можно изменять от 2 до 7 мкм. Данный метод внедрен в технологию изготовления матричных фоточувствительных элементов на основе антимолибдита индия и кремниевых БИС считывания.

PACS: 42.70.Nq

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

Введение

Крупноформатные фоточувствительные матрицы инфракрасного диапазона изготавливают, как правило, гибридными. Матрица фоточувствительных элементов состыковывается с идентичной по размерам матрицей БИС, обрабатывающих сигнал с фоточувствительных элементов.

Такая структура обусловлена стремлением разработчиков объединить преимущество собственного фотоэффекта (большой квантовый выход) и высокий уровень развития кремниевой электроники обработки фотосигнала [1, 2].

Электрическое соединение между этими матрицами осуществляется с помощью

Дирочка Александр Иванович, ученый секретарь¹, профессор².

Климанов Евгений Алексеевич, начальник НТК¹.

Мезин Юрий Сергеевич, ведущий инженер¹.

Седнев Михаил Васильевич, начальник участка¹.

Шаронов Юрий Павлович, ведущий инженер-технолог¹.

¹ОАО «НПО «Орион»,
Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2
E-mail: orion@orion-ir.ru

²Московский физико-технический институт.
Россия, 141700, г. Долгопрудный МО, Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 13 сентября 2012 г.

© Дирочка А.И., Климанов Е.А., Мезин Ю.С., Седнев М.В., Шаронов Ю.П., 2013

индиевых микроконтактов [3, 7, 8], качество которых в значительной степени определяет предельные параметры фоточувствительной матрицы и всего оптико-электронного канала передачи информации. Соединение выше обозначенных элементов гибридной сборки выполняется методом холодной сварки, осуществляемой механическим сдавливанием.

Усилия разработчиков и производителей фотоэлектронных систем сосредоточены на выпуске крупноформатных фотодиодных матриц (10^6 пикселей и более) и матричных преобразователей сигналов изображения (кремниевые БИС считывания для них) [4-10]. Составной частью этого процесса является разработка технологии изготовления гибридной сборки фотоэлектронного модуля, включающей формирование индиевых микроконтактов.

Развитие фокальных фотоприемных матриц направлено на увеличение плотности расположения фотодиодов и элементов кремниевых БИС считывания на единицу площади и на соответствующее уменьшение их размеров и расстояния между ними, что приводит к дополнительным требованиям к микроконтактам.

В настоящее время для формирования индиевых микроконтактов в матричных фото-

приемных устройствах (МФПУ) наиболее часто используются методы обратной фотолитографии или химического травления [7, 8]. Оба метода имеют существенные ограничения при изготовлении микроконтактов в МФПУ с шагом фоточувствительных элементов менее 30 мкм. Это связано с тем, что при жидкостном химическом травлении напыленного слоя индия через маску фоторезиста процесс растворения индия идет изотропно, и при необходимой высоте микроконтактов 10÷12 мкм и минимальной ширине канавки, разделяющей контакты, 5 мкм фоторезистивная маска будет подтравлена раньше, чем закончится травление слоя. Поэтому минимальное расстояние между микроконтактами не может быть меньше толщины слоя индия. Кроме этого, из-за неоднородного травления по площади трудно изготовить микроконтакты с одинаковыми размерами вершины на пластинах более 4÷5 см² [3].

При формировании микроконтактов напылением через свободную маску [5] практически невозможно избежать гальванической связи между элементами матрицы из-за коробления маски большой площади и связанного с этим подпылениями [8].

Напыление толстых слоев индия через маску фоторезиста с отрицательным профилем сопровождается зарастанием краев маски и уменьшением проходного отверстия [3–5]. Поэтому применение этого способа при шаге матрицы 15÷17 мкм и высоте микроконтактов 10÷12 мкм весьма проблематично.

Метод травления ионами аргона [4] позволяет повторять с прецизионной точностью

размеры маски, нанесенной на поверхность любого материала. Технологический процесс проводится в вакуумной камере, в среде инертного газа и характеризуется повышенной воспроизводимостью. При этом процесс травления идет анизотропно в направлении падения ионов рабочего газа. Скорость ионного травления индия втрое больше, чем скорость травления фоторезиста, т.е. при толщине фоторезиста 3÷4 мкм глубина травления индия составит 9 ÷ 12 мкм [3].

В настоящей работе приведены результаты использования метода ионно-лучевого травления в технологическом процессе формирования индиевых микроконтактов.

Результаты исследования

Процесс травления осуществлялся ионами аргона на установке ионно-лучевого травления с криогенной системой откачки и с источником ионов Кауфмана. Диаметр пучка составлял 60 мм. В качестве маски при травлении использовался позитивный фоторезист.

Разработанные технологические режимы позволили воспроизводимо получать большие массивы индиевых микроконтактов высотой 9÷10 мкм с хорошо выраженной квадратной вершиной, имеющей сторону размером 12÷14 мкм. При этом площадь основания микроконтакта составляла 20x20 мкм² при шаге 30 мкм. Данный метод эффективно используется в технологии изготовления матричных фоточувствительных элементов на основе антимонида индия и кремниевых БИС считывания формата до 640x512 с шагом элементов 15 мкм.

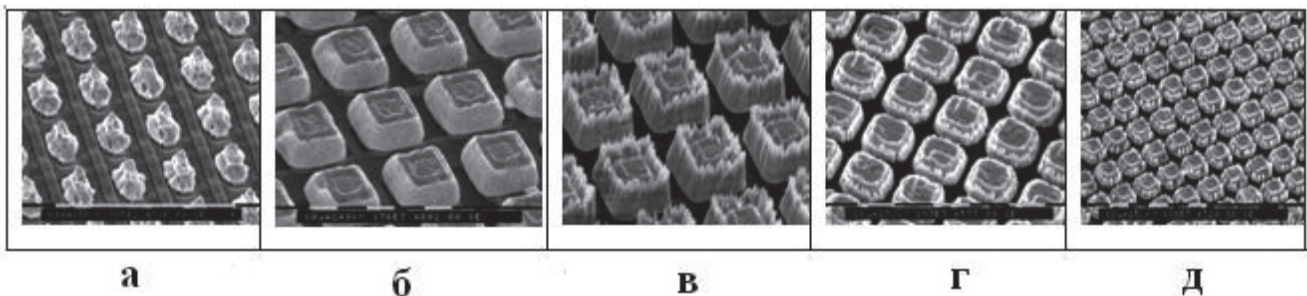


Рис. 1. Изображения в электронном микроскопе фрагментов матриц микроконтактов, сформированных разными методами:

а – мультиплексор, двухстадийное химическое травление, шаг 30 мкм, высота 10 мкм;

б – мультиплексор, ионное травление + химическое дотравливание, высота 8 мкм;

в – мультиплексор, шаг 30 мкм, ионное травление, высота 10 мкм;

г – мультиплексор, шаг 15 мкм, ионное травление, высота 5 мкм;

д – МФЧЭ, шаг 15 мкм, ионное травление, высота 5 мкм.

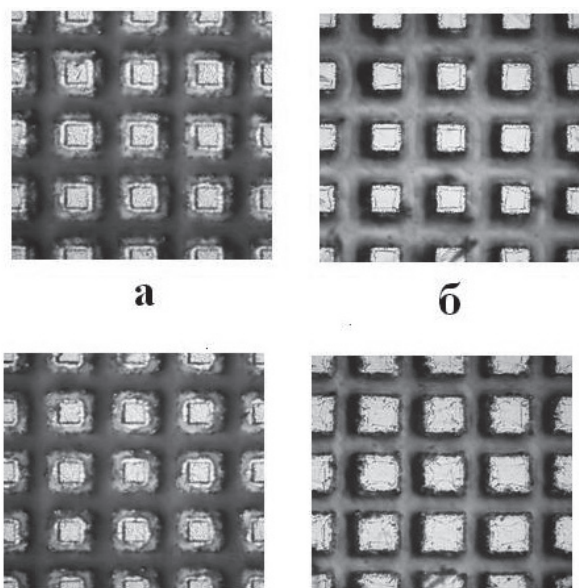


Рис. 2. Фотографии фрагментов матриц микроконтактов, сформированных ионным травлением, на мультиплексоре и плоской кремниевой пластине, шаг 30 мкм: а – мультиплексор 6-B10, профиль края фоторезиста пологий; б – «Свидетель», плоская Si-пластина; в – мультиплексор 6-A10; г – «Свидетель», профиль края фоторезиста, близкий к вертикальному. Толщина индия 8 мкм, время травления 155 мин. для а, б. Толщина индия 9 мкм, время травления 158 мин. для в, д.

На рис. 1, а–д представлены микрофотографии, полученные при исследовании в электронном микроскопе фрагментов матричных фоточувствительных элементов форматов 320x256 и 640x512 из антимолибдита индия с индиевыми микроконтактами и кремниевых матриц считывания сигнала, сформированными, соответственно, двухстадийным химическим травлением (рис. 1, а), ионно-лучевым травлением (рис. 1, в–д) и химическим дотравливанием после ионно-лучевого травления (рис. 1, б).

Сопоставление представленных изображений микроконтактов, полученных ионным и химическим травлением, наглядно демонстрирует, что даже двухстадийное химическое травление приводит к катастрофическому уменьшению размера микроконтакта и при шаге 15 мкм слой индия полностью стравливается. Применение финишного химического травления после ионного пока не дает воспроизводимых результатов. Поэтому для формирования матриц микроконтактов с шагом 15 мкм мы выбрали ионно-лучевое травление.

Особенностью ионного распыления индия является значительное (в 3÷20 раз) превышение скорости травления индия по сравнению с большинством других материалов и, в частности, материала фоторезиста. Поэтому остатки продуктов фотолитографического процесса на поверхности индия (даже не контролируемые визуально в микроскопе) или случаи неоднородного воздействия на нее могут привести к увеличению шероховатости в процессе распыления такой поверхности ионами.

Проведенными исследованиями, результаты которых представлены на рис. 2, а–г и 3, а–в, установлено, что форма и размеры индиевых микроконтактов зависят от ряда

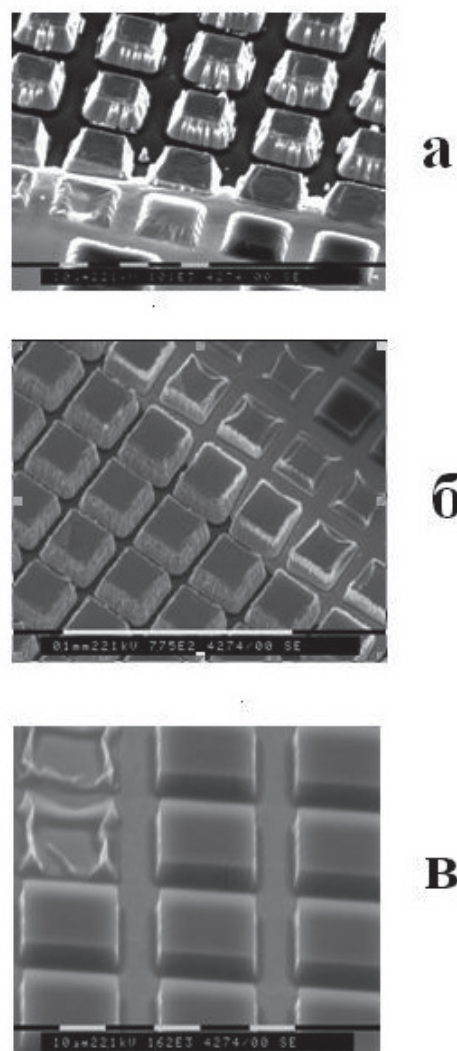


Рис. 3. Изображения в электронном микроскопе фрагментов матриц микроконтактов, сформированных ионным травлением, на плоской кремниевой пластине через маску фоторезиста с различной крутизной края, шаг 30 мкм: а – пологий профиль маски фоторезиста; б, в – профиль маски фоторезиста близок к вертикальному.

факторов, а именно, от микроструктуры напыленного слоя индия [3, 6, 7], неровностей поверхности (в т.ч. создаваемыми элементами топологии), толщины и профиля маски фоторезиста. В частности, профиль маски виден на участках, закрытых во время ионного травления элементом крепления пластины к подложкодержателю (рис.3.).

Выводы:

Ионно-лучевое травление через маску фоторезиста позволяет изготавливать массивы индиевых микроконтактов с наперед заданными параметрами на матрицах фоточувствительных элементов на основе антимонида индия и кремниевых БИС считывания крупноформатных матриц с шагом элементов $15 \div 30$ мкм. При этом требуется оптимизация профиля края маски.

Литература

1. Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А. Современное состояние и магистральные направления развития твердотельной фотоэлектроники. – М.: Физматкнига, 2011..
2. Дирочка А.И., Курбатов Л.Н. Фотоэлектроника. Базовые лекции по электронике. Т. 2. Твердотельная электроника. – М.: Техносфера, 2009.
3. Бурлаков И.Д., Болтарь К.О., Седнев М.В. // Прикладная физика. 2007. № 5. С. 58.
4. Per G. Gloersen // J. Vac. Sci. Technol. 1975. V. 12. P. 28.
5. Седнев М.В., Мезин Ю.С., Болтарь К.О. // Прикладная физика. 2011. № 1. С. 89.
6. Ивановский Г.Ф., Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов. – М.: Радио и связь, 1986.
7. Бурлаков И.Д., Болтарь К.О., Седнев М.В. Патент РФ № 2308788 от 20.01.06. Способ сборки фотоприемного устройства.
8. Клименко А.Г. и др. // Автометрия. 1998. № 4. С. 105
9. Jutao Jiang, Stanley Tsao et.al. // Infrared Physics and Technology. 2004. No. 5. P. 143.
10. Young-Ho Kim, Jong-Hwa Choi, Kang-Sik Choi, et al. // Proc. of SPIE. 1996. V. 3061. P. 60

Ionic-beam etching for formation indium microcontacts

A.I. Dirochka., E.A. Klimanov, Yu.S. Mezin, M.V. Sednev, and Yu.P. Sharonov

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

Results of working out of process of ionic-beam etching of the raised dust indium layers for formation of microcontacts are presented. Matrixes of photosensitive InSb elements and silicon matrixes of reading of a signal with microcontacts in height 5-12 μm with step 30, 24 and 15 μm of a format 320x256 and 640x512 are made. It is possible to change a width of the interval, dividing indium microcontacts, from 2 to 7 μm . The obtained method is introduced in manufacturing techniques of matrix photosensitive elements on a basis InSb and silicon ROIC of formats to 640x512 with step of elements $15 \div 30$ μm

PACS: 42.70.Nq

Keywords: ion-beam etching, micricontact, photodetector, InSb, Si.