

Д. т. н. Р. В. КОНАКОВА, Е. Ю. КОЛЯДИНА,
д. ф.-м. н. Л. А. МАТВЕЕВА, П. Л. НЕЛЮБА,
к. ф.-м. н. В. В. ШИНКАРЕНКО

Украина, г. Киев, Институт физики полупроводников
им. В. Е. Лашкарёва НАНУ

E-mail: matveeva@isp.kiev.ua, konakova@isp.kiev.ua

Дата поступления в редакцию
03.06 2010 г.

Оппонент д. ф.-м. н. А. В. КОВАЛЬЧУК
(ИФ НАНУ, г. Киев)

РАДИАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УЛУЧШЕНИЯ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ К ЭЛЕМЕНТАМ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Исследовано влияние типа металлизации и микроволнового облучения на свойства омических контактов к гетероструктурам, содержащим фуллерены. Выявлено преимущество титановой металлизации перед золотой.

В электронной технике широко используются омические контакты. Вопросам технологии их изготовления уделяется большое внимание в связи с важной ролью механизмов протекания тока в гетероструктурах на границе раздела «металл — полупроводник» [1]. В сенсорных системах, фотоэлектронике и солнечной энергетике наблюдается развитие тенденции к применению низкотемпературных технологий изготовления чувствительных элементов датчиков параметров физических величин на основе полупроводниковых материалов с включением фуллеренов [2]. Использование тонкой пленки C_{60} в качестве промежуточного слоя в структурах «металл — полупроводник» Au/Ti и Au/GaAs позволило улучшить фотоэлектрические свойства чувствительных элементов на их основе (возросла эффективность фотопреобразователей). Включение фуллеренов в полимерную матрицу представляет научный и практический интерес с точки зрения нанотехнологий и полупроводникового приборостроения. Низкотемпературные полимерные технологии с использованием полупроводниковых свойств фуллеренов C_{60} также применяются для изготовления фоточувствительных и солнечных элементов [3].

При разработке приборов электронной техники особое внимание уделяется выбору типа металлизации и технологии изготовления омических контактов, т. к. они могут влиять на параметры изготавливаемых приборов. Для повышения качества полупроводниковых структур и приборов электронной техники часто используется возможность изменения их параметров под действием лазерного, электронного и γ -облучения, а также термического отжига. Однако для фуллеренсодержащих структур перечисленные активные воздействия не могут быть использованы из-за распада фуллеренов в процессе такой обработки. Перспективным в этом случае является сравнительно простой, быстрый и недорогой кратковременный микроволновой отжиг.

Целью данной работы было установление влияния типа металлизации на свойства омических контактов к чувствительным элементам сенсорной техники, изготовленных на основе полимерных композитных пленок с фуллеренами C_{60} , а также использование кратковременной микроволновой обработки для улучшения их параметров.

Схематическое изображение поперечного среза исследуемой структуры фотопреобразующей ячейки представлено на **рис. 1**. Она состоит из кремниевой подложки 1, нижнего слоя металлизации 2 (титановая пленка толщиной 40 нм), полимерного слоя с фуллеренами C_{60} 3 (90 нм) и верхних слоев золотой и титановой металлизации 4.



Рис. 1. Схематическое изображение исследуемой структуры:

1 — кремниевая подложка; 2 — слой нижней металлизации; 3 — полимерный слой с C_{60} ; 4 — верхние омические контакты

Слой нижней металлизации был получен следующим образом. В вакууме 10^{-6} Торр резистивным методом разогревали титановую спираль, и испаряющиеся из нее атомы Ti осаждались на кремниевую подложку. Во избежание возникновения термических напряжений в структуре Ti/Si подложка не подогревалась.

На поверхность полученного титанового слоя наносили путем распыления в центрифуге растворенную в толуоле смесь полимеров РСВМ с фуллеренами C_{60} (6,6-фенил- C_{60} -бутилат метилового эфира) и РЗНТ (поли-3 гексинтиофен). В процессе нанесения смесь непрерывно капала на вращающуюся структуру Ti/Si. Полученную систему с полимером сушили на воздухе. Следует отметить, что добавка к РСВМ полимера РЗНТ при массовом соотношении 2:1 способствует повышению эффективности конверсии солнечной энергии в электрическую.

Следующий этап изготовления фотопреобразующей гетероструктуры заключался в нанесении слоев верхней контактной металлизации. На поверхность полимерного слоя накладывали маску с прямоугольными отверстиями, и в вакуумной камере наносили термическим испарением титановые или золотые контакты.

Для определения омичности контактов использовали четырехзондовый метод. Электрическая схема измерений суммарного сопротивления контактной структуры «металлизация — полимер» и сопротивления полимерного слоя на участке между металлизированными контактами приведена на **рис. 2**. На каждый из двух соседних контактов одной металлизации (Au или Ti) размещали по два зонда. Одну пару зондов стабилизировали по току, а на другой паре измерялось напряжение универсальным вольтметром В7-46. При этом определялось суммарное сопротивление структуры «металл — полимерный композит — металл» для каждого типа верхней металлизации. Используемая электрическая схема позволяла исключить влияние сопротивления измерительных приборов на результаты измерений.

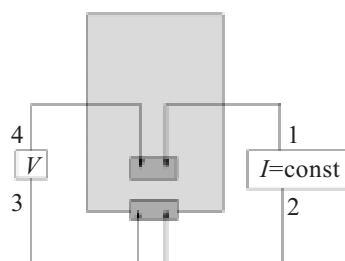


Рис. 2. Электрическая схема измерения контактного сопротивления: 1, 2 — пара зондов для стабилизации тока; 3, 4 — пара зондов для измерения напряжения

Анализ полученных данных показал, что полное сопротивление исходных структур зависит от типа верхней металлизации. Для структур с золотой металлизацией его величина (R_{Au}) в несколько раз превышала сопротивление структур с титановой металлизацией (R_{Ti}) (см. **рис. 3**). Такое различие может быть обусловлено следующими факторами. Во-первых, фазовые диаграммы «золото — углерод» и «титан — углерод» указывают на возможность карбидизации титана (образование химической связи Ti—C) и отсутствие такой возможности для золота. Во-вторых,

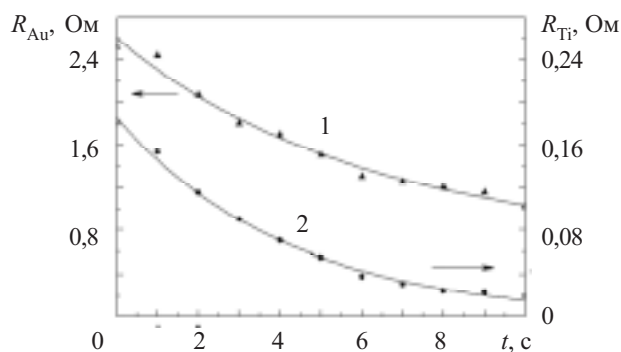


Рис. 3. Зависимость полного сопротивления структуры с золотой (1) и с титановой (2) верхней металлизацией от длительности микроволнового облучения

в [4] методами рентгеновской, фотоэлектронной спектроскопии и синхротронного излучения были исследованы процессы осаждения различных металлов (Ti, Cr, Au, La, In) на поверхность пленок фуллеренов C_{60} . Авторами [4] было установлено, что Ti и La на начальных стадиях роста образуют карбиды, а затем происходит кластеризация атомов металла. При осаждении Au, Cr и In уже на начальных стадиях роста происходит перемешивание атомов металла с C_{60} без образования объемного металл-фуллеридного соединения, т. е. сразу образуются металлические кластеры. Тенденция к образованию монослоя Ti и La при осаждении на слой фуллеренов C_{60} отражает гибридизацию металлической d - и фуллереновой p -орбиталей по аналогии с образованием объемных карбидов, только при этом спариваются молекулярные орбитали, а не атомные. При спаривании орбиталей C_{60} с Ti_{3d} происходит гибридизация уровней LUMO в C_{60} с Ti_{3d} уровнями титана, и образованная структура Ti_xC_{60y} является скорее планарной, чем трехмерной. В-третьих, в [5] оптическими методами (фотолюминесценции, комбинационного рассеяния света и оптической проводимости) было подтверждено образование новой фазы при осаждении титановых слоев на пленки фуллерена C_{60} , которая не принадлежит ни фуллерену, ни титану.

Учитывая результаты [4, 5], будем считать, что в исследуемых нами структурах на границе титановой металлизации с полимером, содержащим фуллерены C_{60} , тоже возможна гибридизация d -орбиталей Ti и p -орбиталей фуллерена. Это происходит как на верхнем, так и на нижнем титановых контактах. Следовательно, образование Ti_xC_{60y} снижает барьерный контакт «Ti — полимер», и основной вклад в общее сопротивление структуры с титановой металлизацией вносит сопротивление композитной полимерной пленки. Поскольку золото не взаимодействует с фуллеренами, сопротивление контакта «Au — полимер» больше сопротивления «Ti — полимер», что приводит к большему сопротивлению структуры в случае золотой металлизации.

Для радиационной обработки структур использовалось микроволновое облучение импульсами частотой 2,45 ГГц мощностью 1,5 Вт/см² длительностью 1 с. Суммарное время облучения не превышало 10 с. Микроволновая обработка уменьшала суммарное сопротивление структуры как с титановой, так и с золотой металлизацией (рис. 3), но при этом она была более эффективной для структуры с титановой металлизацией, чем для структуры с золотой металлизацией, причем эта эффективность возрастала с увеличением длительности СВЧ-обработки (**рис. 4**).

Влияние типа металлизации на степень уменьшения общего сопротивления структуры «металл — полимер — металл» при микроволновой обработке гетероструктур с фуллеренами объясняется несколькими факторами. Один из них — это наличие процессов радиационно-стимулированной диффузии, которые в нашем случае имеют место в приконтактных областях «Ti — полимер» и «Au — полимер». Эти процессы приводят к улучшению омического контакта

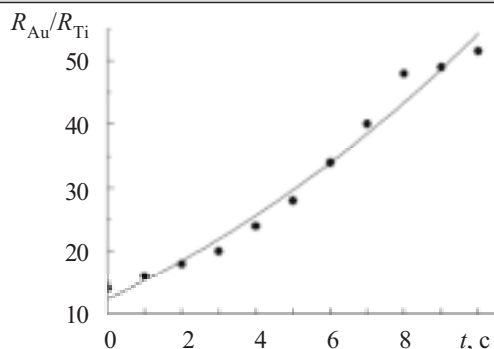


Рис. 4. Зависимость отношения сопротивлений R_{Au} и R_{Ti} от длительности микроволновой обработки

металла к полимеру благодаря интердиффузии на их границе раздела, стимулированной СВЧ-облучением. При этом возрастает контактирующая поверхность, а в случае титановой металлизации появляется вероятность образования карбида Ti_xC_{60y} не только на поверхности полимерного слоя, но и в приконтактной области. В случае же золотой металлизации, как было указано выше, карбиды не образуются. Вторым фактором, влияющим на уменьшение сопротивления структуры в процессе микроволновой обработки, является радиационно-стимулированное упорядочение объема полимерного слоя в гетероструктуре, а также границы раздела «Ti — полимер». Это следует из результатов исследования данных гетероструктур методом модуляционной спектроскопии электроотражения света. В [6] было установлено, что под действием СВЧ-обработки релаксируют внутренние механические напряжения на границе раздела «Ti — полимер», дополнительно образуется соединение C_{60} с Ti, уменьшается параметр уширения спектра электроотражения от полимера, возрастает время энергетиче-

ской релаксации носителей заряда, возбужденных в нем светом. Эти факты свидетельствуют об улучшении структурного совершенства в полимере по мере увеличения длительности микроволновой обработки.

Таким образом, при изготовлении омических контактов к элементам электронной техники, содержащим фуллерены, рекомендуется использовать материалы, образующие карбидные соединения с фуллеренами. Из двух наиболее распространенных в настоящее время типов металлизации — Ti и Au — в данном случае предпочтительной является титановая.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Бланк Т. В., Гольдберг Ю. А. Механизмы протекания тока в омических контактах металл-полупроводник. Обзор // Физика и техника полупроводников.— 2007.— Т. 41, № 11.— С. 1281—1308.
2. Narayanan L. K., Jamaguchi M. Photovoltaic effects of a: C/C₆₀/Si solar cells structures // Solar Energy Materials and Solar Cells.— 2003.— V. 75.— P. 345—350.
3. Arndt C., Zhokhavets U., Mohr M. et al. Determination of polaron lifetimes and mobility in a polymer/fullerene solar cell by means of photoinduced absorption // Synthetic Materials.— 2004.— Vol. 147, N 1—3.— P. 257—260.
4. Ohno T. R., Chen Y., Harvey S. E. et al. Metal-overlayer formation on C₆₀ for Ti, Cr, Au, La and In: Dependence on metal-C₆₀ bonding // Phys. Rev. B.— 1992. Vol. 47, N. 4.— P. 2389—2393.
5. Булавин Л. А., Дмитренко О. П., Билий М. М. та ін. Електронна та коливна структура плівок C₆₀ з металами // Фізика і хімія твердого тіла.— 2008.— Т. 9, № 2.— С. 328—332.
6. Konakova R. V., Matveeva L. A., Kolyadina E. Yu. et al. Interdiffusion and quantum dimensional effect in solar cells with fullerene // 3rd Int. Conf. Proceedings «Physics of electron materials».— 2008.— Kaluga: KSPU Press, 2008.— Vol. 1.— P. 196—201.

НОВЫЕ КНИГИ

Берлин Е. В., Сейдман Л. А. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии.— М.: Техносфера, 2010.— 528 с.

Книга представляет собой подробное справочное руководство по основным вакуумным плазмохимическим процессам в тонкопленочной технологии — реактивному магнетронному нанесению тонких пленок и ионно-плазменному травлению. В книге содержится подробное описание магнетронных напылительных установок и плазмохимических установок для травления тонких пленок; рассмотрены технологические особенности их использования; описаны способы управления процессами реактивного нанесения тонких пленок и использования среднечастотных импульсных источников питания; показаны технологические особенности получения тонких пленок тройных химических соединений методом реактивного магнетронного сораспыления; описана структура получаемых пленок, а также ее зависимость от параметров процесса нанесения, приведены принципы конструирования источника высокочастотного разряда высокой плотности для ионного или плазмохимического прецизионного травления тонких пленок, а также его использования для стимулированного плазмой осаждения тонких пленок. Рассчитана на специалистов в области электронной техники, нанотехнологии, технологии производства и изготовления специализированного оборудования. Также будет полезна для студентов старших курсов и аспирантов соответствующих специализаций.

