

Согласно стандарту CIE 1931, люминесценция непрокаленного порошка и образцов, прокаленных при  $T = 800$  °C и  $1150$  °C, характеризуется цветовыми координатами ( $x = 0.608$ ;  $y = 0.392$ ) с доминантной длиной волны  $\lambda_d = 594$  нм, ( $x = 0.594$ ;  $y = 0.406$ ) и  $\lambda_d = 592$  нм, ( $x = 0.589$ ;  $y = 0.411$ ) и  $\lambda_d = 590$  нм, соответственно.

Высокие значения параметров чистоты цвета (красный, по системе CIE 1931) зарегистрированной люминесценции делают синтезированные нанопорошки  $\text{Eu:Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  перспективным материалом для разработки на их основе красных люминофоров. Дальнейшая работа с данными материалами будет направлена на их допирова-

ние парой ионов ( $\text{Yb}^{3+}$ ,  $\text{Eu}^{3+}$ ) для реализации up- и down-конверсионных процессов.

1. D. Uhlich, P. Uppertz, D.U. Wiechert, T. Jüstel. Preparation and characterization of nanoscale lutetium aluminium garnet (LuAG) powders doped by  $\text{Eu}^{3+}$  // Opt. Mater. – 2007. –Vol. 29. No. 11. – P. 1505-1509.
2. С.М. Dodson, R. Zia. Magnetic dipole and electric quadrupole transitions in the trivalent lanthanide series: Calculated emission rates and oscillator strengths // Phys. Rev. B. – 2012. – Vol. 86. No. 12. – P. 125102.

УДК 621.385.6

## НОВАЯ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ФОТОАКУСТИЧЕСКОЙ ИНТРОСПЕКЦИИ

Волкенштейн С.С.<sup>1</sup>, Керенцев А.Ф.<sup>2</sup>, Рубцевич И.И.<sup>2</sup>, Хмыль А.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Планар-СО»

<sup>2</sup>ОАО «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»

<sup>3</sup>УО БГУИР

Минск, Республика Беларусь

Метод лазерной фотоакустической (ЛФА) интроспекции разрабатывался и доказал эффективность контроля качества и диагностики неисправностей во всём диапазоне сборочных операций при производстве изделий электронной техники и микроэлектроники (ИЭТиМЭ) применительно ко всем типам неразъёмных соединений, используемых в монтажных конструкциях приборов [1].

Такие широкие возможности обеспечиваются координатными системами пространственного сканирования ( $X$ ,  $Y$ ) охватывающими диапазон перемещений более четырёх порядков от  $51200$  мкм до единиц микрометра, обеспечивая пространственное  $X$ ,  $Y$  разрешение от  $200$  мкм до  $0,5$  мкм. При этом также предусмотрена возможность изменения диаметра пятна сфокусированного лазерного импульсного ультрафиолетового излучения от  $2$  до  $200$  мкм.

Высокая чувствительность данного метода к нарушению сплошности неразъёмных соединений в монтажных конструкциях позволяет качественно оценить адгезионные свойства различных систем металлизационных покрытий. Отличные результаты в своё время были получены при проведении контроля металлизированных шин СВЧ транзисторов (рис. 1) [2].

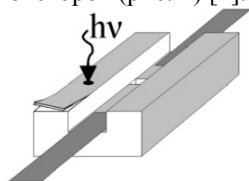


Рис. 1. Общий вид кристаллодержателя СВЧ транзистора с отслоением металлизации на шине

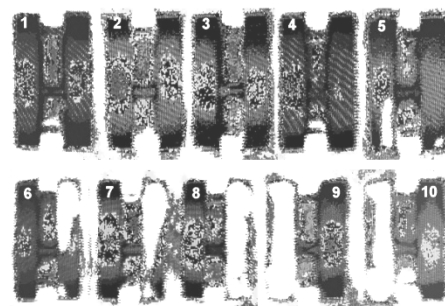


Рис. 2. Лазерные фотоакустические топограммы кристаллодержателей СВЧ транзистора: годных (1, 2, 3, 4) и с отслоением металлизации на шине (5, 6, 7, 8, 9, 10). Пространственное разрешение  $X$ ,  $Y$  –  $50$  мкм

Импульсное ( $\tau = 10$  нс) нормальное зондирование поверхности металлизации  $10$  приборов проводилось ультрафиолетовым ( $\lambda = 337$  нм) пучком (рис. 1) с шагом регистрации фотоакустического отклика на теневой стороне равным  $50$  мкм. В результате на топограммах (рис. 2) визуализировались области отслоения металлизации (белый цвет), а также особенности её тонкой структуры.

В данном случае при помощи ЛФА интроспекции была проведена качественная оценка адгезии без разрушения образцов, что позволяет провести многочисленные повторные оценки после различных тестов и проследить динамику влияния внешних воздействий на состояние адгезионного покрытия. Это позволит спрогнозировать эксплуатационную надёжность испытуемого изделия.

Задача оценки адгезии различных покрытий выходит далеко за пределы микроэлектронной отрасли.

В качестве примера можно привести stealth-технологии, где зачастую применяются радиопоглощающие покрытия (РПП). РПП изготавливается, как правило, в виде слоев радиопоглощающего материала (РПМ), нанесенных на металлическую или диэлектрическую подложку, которая представляет собой поверхность защищаемого изделия. Нанесение слоев РПМ традиционно производится путем сухого распыления с последующей сушкой каждого слоя. Толщина каждого слоя и количество слоев определяется заданными условиями получения РПП, определяющими необходимые конкретные параметры покрытия. Одной из важных задач при создании РПМ является требование высокого коэффициента поглощения и одновременно низкого отражения в широком диапазоне длин волн. Важными свойствами радиопоглощающего покрытия являются их термостойкость, эластичность, коррозионная стойкость, стойкость к другим экстремальным условиям, к которым относятся воздействие повышенных и пониженных температур, воздействие повышенной влажности, солевого (морского) тумана, термическое старение покрытия при низких и высоких температурах, циклическое изменение температуры окружающей среды.

Реализованная на действующем оборудовании возможность макросканирования образцов на поле 5x5 см позволяет получить достоверные данные при исследовании опытных образцов покрытий и оценки их физико-механических свойств при воздействии наиболее критичных климатических факторов. В конечном счёте, это позволит точно прогнозировать эксплуатационную надёжность конкретной реализации технологического решения.

Ещё одной областью со схожими проблемами является создание различных биметаллических соединений.

В настоящее время разработано большое количество всевозможных силовых элементов, принцип работы которых основан на реализации эффектов памяти формы (ЭПФ). В процессе осуществления обратного мартенситного превращения они в заданной последовательности способны восстанавливать предварительно заданную деформацию различного типа. В основном эти элементы представляют собой взаимосвязанную пару из сплава с ЭПФ и упругого контртела. От жесткости контртела зависит рабочий ход и усилие, развиваемое рабочим телом с ЭПФ. В связи с этим, актуальной является задача разработки композитов, сочетающих функции исполнительного механизма с ЭПФ и контртела, в частности, получение биметаллических

конструкций.

Процесс соединения никелида титана с другими материалами, особенно с нержавеющей стали, довольно труден. При сварке нитинола образуются хрупкие интерметаллические фазы, которые значительно уменьшают силу соединения [3, 4]. С точки зрения технологии материала, самым многообещающим способом для соединения TiNi является метод высокоскоростного деформирования (сварка взрывом).

В качестве образца исследования было взято трёхслойное соединение TiNi-сталь обеспечивающее высокие термоупругие и возвратные характеристики силовых элементов, работающих на эффекте памяти формы (рис. 3).

Слой металла наносился друг на друга методом сварки взрывом в два этапа. Вначале проводили сварку пластин TiNi-сталь, затем на двухслойный пакет наносился третий слой – нержавеющая сталь [5].

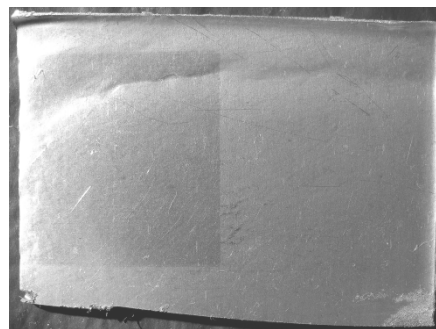


Рис. 3. Внешний вид трёхслойного образца TiNi-сталь со стороны стали

На рис. 3 приведен внешний вид исследуемого образца, на поверхности которого за счёт абляционного воздействия импульсного лазерного излучения на поверхностные загрязнения отобразилась область сканирования 25,6x23,5 мм.

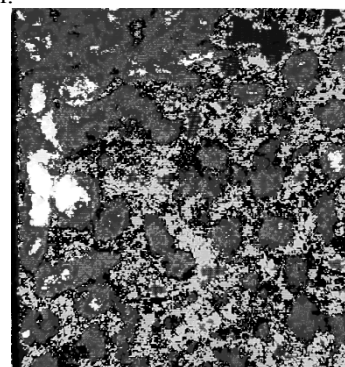


Рис. 4. Лазерная фотоакустическая топограмма трёхслойного образца TiNi-сталь со стороны стали

На лазерной фотоакустической топограмме (рис. 4) исследуемого трёхслойного образца

TiNi-сталь зарегистрирован кривой излом в верхней части поля сканирования, что явно коррелирует с внешним видом при визуальном осмотре образца. Дальнейшие исследования требуют проведения верификации, тестовых испытаний и анализа полученных результатов.

1. Волкенштейн С.С., Хмыль А.А. Неразрушающие методы контроля качества монтажа полупроводниковых кристаллов в корпуса ИМС. Технологии в электронной промышленности, №2, 2011 г., с. 18-22
2. Волкенштейн С.С., Турцевич А.С., Соловьёв Я.А., Керенцев А.Ф., Хмыль А.А. Формирование и контроль системы металлизации Mo-Ni-Au на бериллиевой керамике. V Международная научно-техническая конференция «Приборостроение – 2012», Минск, Беларусь, 2012 г. с. 256-258

3. Schlobmacher P., Haas T., Schubler A. Laser-welding of a Ni-rich NiTi shape memory alloy // SMST-97: Proceedings Conference, California, 2-6 March 1997 / Ed. by A.Pelton.- Asilomar, California, 1997.- P. 137-142.
4. Schubler A. Micro-machining and joining of NiTi-alloys using Nd:YAG lasers // SMST-97: Proceedings Conference, California, 2-6 March 1997 / Ed. by A.Pelton.- Asilomar, California, 1997.- P. 143-148.
5. Рубаник В.В., Клубович В.В., Рубаник В.В.мл., Петров И.В., Рубаник О.Е. Получение трехслойных соединений сталь-Ti-Ni сваркой взрывом // Актуальные проблемы прочности. XLVI Международная конф. Тез. докл. Витебск, 15-17 октября 2007 г. – С.330-331.

УДК 621.315

### ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕГИРОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР С ГЛУБОКИМИ МНОГОЗАРЯДНЫМИ ПРИМЕСЯМИ

Воробей Р.И., Гусев О.К., Свистун А.И., Тявловский А.К., Тявловский К.Л., Шадурская Л.И.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

Формирование приборных структур многофункциональных датчиков (МФД) на основе собственных полупроводников с глубокими многозарядными примесями возможно и традиционными методами, широко используемыми при формировании активных слоев с высокой концентрацией примеси. Однако процессы формирования активных слоев МФД на основе собственных полупроводников отличаются специфическими требованиями и для них желательно использовать ряд технологических операций, оптимизированных для формирования слоев с высокой чистотой примесного состава при низкой концентрации примеси.

Электронные свойства приборных структур, формируемых в собственных полупроводниках, в значительной степени зависят от метода их получения. Так, например, свойства активных слоев ряда МФД на основе собственных полупроводников формируются низкими концентрациями глубоких примесей с несколькими зарядовыми состояниями, но в той же области энергий образуются локализованные состояния, связанные с вводимыми при технологической обработке дефектами. Различные технологические операции характеризуются и различным составом, и концентрацией сопутствующих дефектов.

В отличие от традиционных, газоразрядный метод легирования, использующий в качестве материала электродов примесные элементы, позволяет получить легирующие примеси непосред-

ственно в установке диффузии или эпитаксиального наращивания. В качестве газа, в котором формируется разряд, используют инертные газы, которые не являются легирующими примесями, в качестве источника легирующих примесей используют сильнолегированный электрод в форме пластины (электрода-мишени). Легирующий элемент появляется в газовой среде за счет катодного распыления электрода-мишени при ионной бомбардировке. В дальнейшем ионы легирующего элемента ионизируются и внедряются в пластину.

Этот метод обеспечивает высокую чистоту процесса. Степень легирования легко управлять электрическими параметрами газового разряда и тем самым можно получать заданные распределения примесей в процессе эпитаксиального наращивания. Собственно, газоразрядный метод легирования обычно использует искровой или тлеющий разряды, часто при атмосферном давлении. Кроме того, плазма может быть возбуждена и с помощью лазерного излучения. Получение легирующей примеси непосредственно в процессе легирования позволяет избавиться от применения высокотоксичных соединений, которые к тому же являются нестабильными, например, диборан как соединение устойчив не более 2-х месяцев. Все это приводит к неконтролируемому легированию при использовании смесей.