

под которым располагаются призмы Волластона с результирующей разностью хода лучей 70 нм ($\lambda/8$, серый цвет 1-го порядка) для дифференциального разложения изображения, а над поляризатором размещается анализатор. Метод интерференционного контраста согласно Номарскому с дифференциальным разложением изображения посредством вспомогательного поляризатора хорошо зарекомендовал себя в области исследований по визуальному выявлению поверхностных дефектов, имеющих незначительные различия по толщине или показателю преломления, а также для оценки ширины скосов [3].

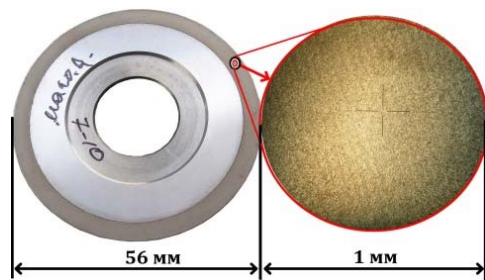


Рисунок 1 – Внешний вид алмазного режущего диска (слева) и увеличенное изображение участка (\varnothing 1 мм, 250:1) КЭП режущего диска (справа)

Оцифрованное изображение поверхности КЭП в RAW формате обрабатывалось (без выравнивания уровня яркости в поле изображения) с помощью графических фильтров (программа Adobe Photoshop CS5) с целью выделения границ между Ni матрицей и дисперсной фазой УДА.

На втором этапе были изготовлены два алмазных диска с меньшей и большей концентрацией дисперсной фазы УДА соответственно, что обеспечивалось специально заданными факторами технологического характера. Далее эти диски по методике первого этапа для чистоты эксперимента подверглись групповой обработке в одном файле при неизменных режимах и настройках, начиная с оцифровки изображения, полученного в интерференционном контрасте по Номарскому с дифференциальным разложением изображения, с последующим выделением границ между Ni матрицей и дисперсной фазой УДА (рис. 2) при помощи графических фильтров (программа Adobe Photoshop CS5).

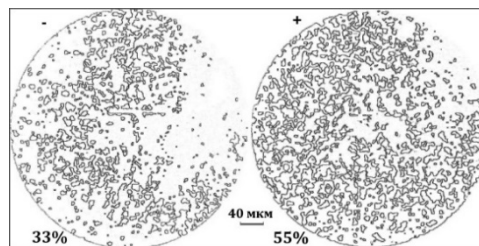


Рисунок 2 – Графическое изображение (\varnothing 0,4 мм, 630:1) выделенных границ между Ni матрицей и дисперсной фазой УДА двух исследованных образцов с меньшей (слева) и большей (справа) концентрацией УДА

На третьем этапе графическое изображение границ между Ni матрицей и дисперсной фазой УДА программно обрабатывалось с целью получения количественной оценки протяженности границ, которая численно пропорциональна значению концентрации дисперсной фазы УДА, что составило для образца с меньшей концентрацией дисперсной фазы УДА – 33 %, а для образца с большей концентрацией дисперсной фазы УДА – 55 %.

Дальнейшая разработка данной методики предполагает получение релевантной выборки для статистической обработки результатов с целью повышения достоверности, что усложняется большой трудоёмкостью и материалозатратностью изготовления требуемого массива исследуемых образцов. Также необходимо программно автоматизировать процесс обработки графических файлов с последующим сравнением, сортировкой и архивированием данных, и с помощью SDK (software development kit) создать приложения для используемого пакета программ.

Литература

1. Хмыль А.А., Ланин В.Л., Емельянов В.А. Гальванические покрытия в изделиях электроники. Минск: Интегралполиграф, 2017. – 480 с.
2. Хмыль А.А., Кушнер Л.К., Кузьмар И.И. Наноструктурированные тонкоплёночные материалы, содержащие ультрадисперсные агрегаты углерода, и их свойства // Наноструктуры в конденсированных средах: сборник научных статей. Минск: ИТМО им. Лыкова. 2016. – С. 135–140.
3. Beyer H. Handbuch der Mikroskopie. VEB Verlag Technik, Berlin, 2 Aufl. 1977.

УДК 621.385.6

УСКОРЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МОЩНЫХ ДМОП ТРАНЗИСТОРОВ

Волкенштейн С.С.¹, Керенцев А.Ф.², Хмыль А.А.³

¹ОАО «Планар-СО», Минск, Республика Беларусь

²ОАО «ИНТЕГРАЛ», Минск, Республика Беларусь

³УО БГУИР, Минск, Республика Беларусь

Прямые испытания п/п приборов для подтверждения заданной надежности требуют огромных затрат времени, оборудования, исследуемых образцов и энергоресурсов, поэтому, как

правило, применяются ускоренные испытания (УИ), которые являются типом физико-технического моделирования в сжатом масштабе времени. Для выявления потенциально слабых,

дефектных мест и механизмов отказов изготавливаемых приборов в качестве ускоряющих факторов используются: температура, механические нагрузки в виде линейных ускорений, ударов и вибраций, влажность, давление окружающей среды, электрическая нагрузка, радиационное воздействие.

Мощные ДМОП транзисторы в металлокерамическом корпусе типа КТ-97 работают, в основном, в режиме электронного ключа при максимальной токовой нагрузке порядка 30÷40 А. В процессе эксплуатации периодически происходит нагрев активной структуры транзистора, который будет тем выше, чем больше переходное тепловое сопротивление «п/п переход-корпус». Поэтому актуальной задачей является повышение устойчивости мощного транзистора к циклическому температурному воздействию.

Таблица

Образец	Начальное значение $R_{тнк1}$, °C/Вт	Значение $R_{тнк2}$ после 500 т/у, °C/Вт	$R_{тнк2}/R_{тнк1}$	ОМН σ_{max} , МПа
№12 (Au-Si)	0,53	0,56	1,05	+69
№13 (Au-Si)	0,46	0,48	1,04	+65
№14 (Au-Si)	0,88	1,56	1,77	+73 -45
№16 (Au-Si)	0,73	0,77	1,05	+62
№8 (припой)	0,67	1,03	1,54	+18 -5
№9 (припой)	0,66	2,36	2,58	+7 -5
№20 (припой)	0,92	2,38	2,59	0
№21 (припой)	0,88	0,89	1,01	+51 -5

Монтаж кристаллов ДМОП транзисторов в корпус с золотым покрытием выполнялся на эвтектику Au-Si на установке монтажа п/п кристаллов ЭМ-4085, а в корпус с никелевым покрытием – в конвейерной печи на припой по касетной технологии сборки. После сборки по полному маршруту годные транзисторы подвергались длительным воздействиям термоударов (500 циклов) при -196 °C (5 мин.) и +200 °C (10 мин.) с последующей оценкой:

- уровня теплового сопротивления;
- значения остаточных внутренних напряжений (ОМН) (качественно и количественно) в структуре п/п кристаллов и характера искривления их планарной поверхности – методом лазерной интерферометрии [1];
- состояния внутренней структуры п/п кристалла (ближняя зона) и монтажного слоя (дальняя зона) при помощи лазерной фотоакустической интроскопии [2].

В Таблице приведены результаты изменения уровня теплового сопротивления после проведения УИ транзисторов тепловым воздействием.

В отношении образцов №№ 14, 8, 9, 20 было зафиксировано значительное увеличение уровня теплового сопротивления.

На основе микроинтерферограмм были реализованы матрицы деформации с последующим построением профиля исследуемых п/п кристаллов в трехмерном пространстве в «грубом» X,Y приближении (рис. 1, 2), а также были вычислены максимальные значения интегральных составляющих ОМН (σ_{max}) (Табл.) и минимальные значения радиусов искривления их планарных поверхностей. Для образцов №№ 12, 13, 14, 16 характерны более высокие значения ОМН. На рис.1 приведены типовой качественный профиль поверхности п/п кристалла (рис. 1, а) и профиль п/п кристалла образца № 14 (рис. 1, б) с дефектной областью растягивающих напряжений ($\sigma_{max} = -45$ МПа).

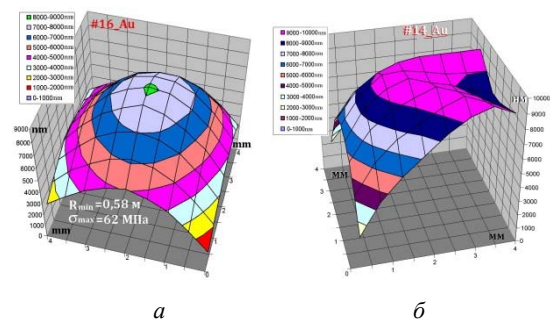


Рисунок 1 – Профили поверхности образцов №№ 16, 14

На рис. 2 приведен типовой профиль образцов №№ 8, 9, 21. Для них характерны седлообразная форма профиля, что вызвано суммарным воздействием полей растягивающих и сжимающих напряжений. Образец № 20 в ходе УИ почти полностью потерял сцепление с подложкой, о чём также говорит увеличение его теплового сопротивления в 2,59 раза.

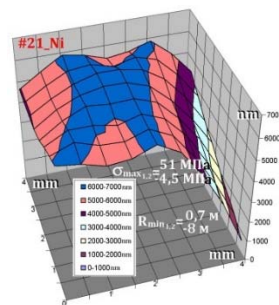


Рисунок 2 – Типовой профиль образцов №№ 8, 9, 21.

Исследование внутренней структуры монтажных конструкций «подложка – припой – п/п кристалл» проводилось методом лазерной фотоакустической интроскопии. На рис. 3 приведены лазерные фотоакустические топограммы

(ближняя зона) образцов транзисторов с нарушением целостности кристаллической структуры в виде обширных трещин, берущих начало из области сварных точек затворного межсоединения (левая сторона п/п кристаллов).

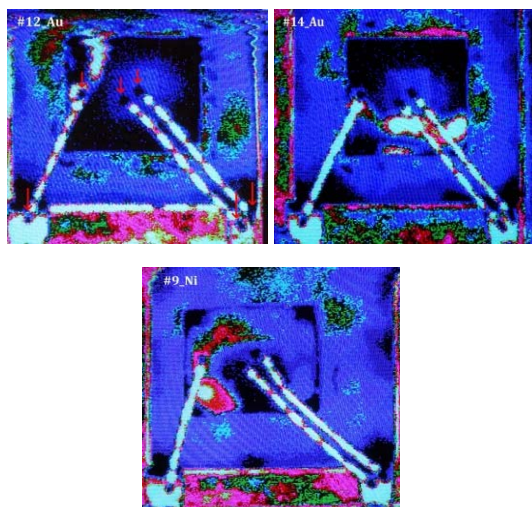


Рисунок 3 – Лазерные фотоакустические топограммы образцов транзисторов №№12, 14, 9 с нарушением целостности кристаллической структуры

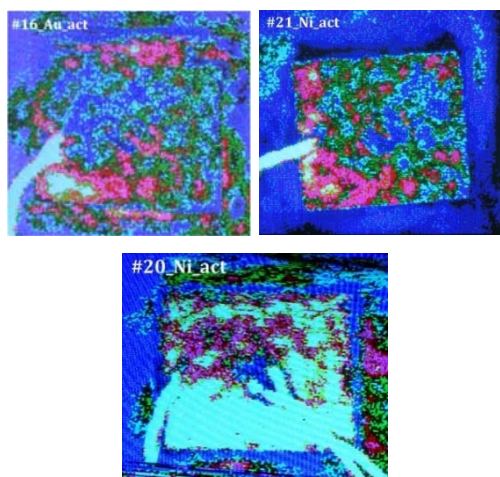


Рисунок 8 – Лазерные фотоакустические топограммы образцов №№ 16, 21, 20

На рис. 4 приведены лазерные фотоакустические топограммы (дальняя зона, охватывающая монтажную конструкцию «подложка – эвтектика/припой – п/п кристалл»), на которых области качественного соединения окрашены синим цветом, а области отсутствия адгезии – зелёным, красным и белым, что в большей степени касается образца № 20.

Выводы

1. Монтаж п/п кристаллов №№ 14, 21, 9, 8 является неудовлетворительным. Вследствие этого готовые изделия не будут обладать эксплуатационной надёжностью. Это относится ко всей группе образцов касетной технологии сборки, причём монтажная конструкция образца № 20 разрушилась, о чём свидетельствует отсутствие остаточных механических напряжений.

2. Исходя из анализа топограмм, приведенных на рис. 3, в кристаллической структуре образцов №№ 12, 14, 9 образовались обширные трещины и выколы, пересекающиеся со сварной точкой одинарной перемычки (затвор) на контактной площадке кристалла. Это связано со сверхкритическим режимом сварки или нестабильностью работы ультразвукового генератора во время формирования межсоединений, также существенный вклад в нестабильность процесса сварки вносят пустоты и области частичной адгезии (или её отсутствие) в монтажном слое «подложка - эвтектика/припой - п/п кристалл», что присуще всем исследованным образцам.

Литература

1. Волкенштейн С.С., Хмыль А.А. Неразрушающие методы контроля качества монтажа полупроводниковых кристаллов в корпуса ИМС. / «Технологии в электронной промышленности», № 2, 2011. – С. 18–22.
2. Волкенштейн С.С., Дайняк И.В., Хмыль А.А. Сравнительная оценка альтернативных методов контроля качества и диагностики монтажных конструкций «п/п кристалл–подложка» / «Производство электроники», № 5, 2017. – С. 118–120.

UDC 621.91.01:681.3.01:004.4

COMPUTER MODELING OF DETAILS' ELASTIC STATE

Voloshko O.V., Vysloukh S.P.

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

Computer modeling is one of the effective methods for studying complex systems. Computer models are simple and convenient for computing experiments. Computer modeling provides an opportunity to study processes in dynamics, managing their duration, perform multiple tests of the initial model, to obtain various characteristics of the object in numerical or graphical form, to find the optimal design

solution without the production of prototypes. In computer modeling, the method of final elements, the method of final differences, the method of node potentials, etc., is used [1].

The use of the final elements' method for today is in fact the world standard for calculations of component designs. The basis of this is the universality of the method, which allows the only way to calcu-