

Рисунок 3 – Лазерная микроинтерферограмма центральной части углеситалловой створки ИКС

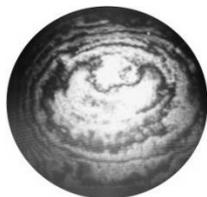


Рисунок 4 – Лазерная микроинтерферограмма центральной части пиролитической углеродной створки ИКС б/у

Растягивающие напряжения, особенно в кристаллических материалах, создают концентраторы напряжений в области дефектов, что чревато возникновением сверхкритических напряжений на фоне небольших растягивающих усилий. Расчёт коэффициентов концентрации напряжений, перпендикулярных плоскости трещины (параллельно приложенной растягивающей силе) длиной 2 мкм с радиусом кончика, равным 1 Å, показал, что максимальная величина концентрации напряжения может достигать величины 200. Это говорит о том, что при появлении даже минимальных внутренних механических напряжений растяжения ( $\geq 0,45$  МПа) в области дефектов в кремнии возникают сверхкритические растягивающие напряжения разрушения ( $\geq 90$  МПа) ухудшающие эксплуатационную надёжность изделий, а зачастую несовместимые с их функционированием. Углеситалл является материалом с конденсационно-кристаллизационной структурой. Установлено, что при концентраторах напряжений с радиусами менее 0,15 мм углеситалл крайне чувствителен к концентрации напряжений. Это подтверждает, что углеситалл относится к хрупким материалам.

УДК 621.385.6

## ДОКУМЕНТИРОВАНИЕ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

Волкенштейн С.С.

ОАО «Планар»

Минск, Республика Беларусь

Современные высокоскоростные видеосистемы, способные производить съёмку со скоростью до сотен тысяч кадров в секунду, открывают новые уникальные возможности в исследовании быстропротекающих процессов.

Аппаратно-программные комплексы цифровой видеорегистрации быстропротекающих про-

На интерферограмме центральной части пиролитической углеродной створки ИКС б/у (рис. 4) интерференционные полосы имеют вид симметричных концентрично расположенных колец с ровными краями, что говорит о промежуточном упорядочении ( $0 < \gamma < 1$ ). В этом случае предполагается, что графитоподобные кристаллиты располагаются в неупорядоченной матрице – «пачечно-бахромчатая» модель. В данном случае на образец воздействуют равномерные ОВН сжатия порядка +20 МПа.

На основании интерферограммы (рис. 4) был создан профиль деформированного изделия в трехмерном пространстве (рис. 5).

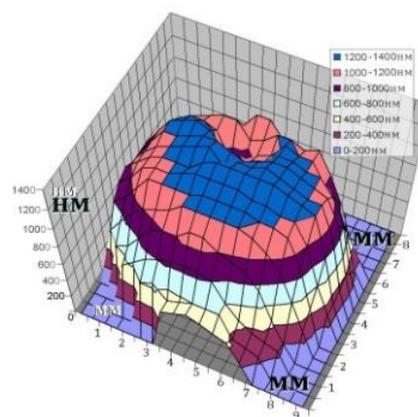


Рисунок 5 – 3D модель поверхности фрагмента центральной части пиролитической углеродной створки ИКС б/у

При внимательном рассмотрении, на вершине «купола» пространственной модели (рис. 5) можно заметить скол в виде кратера диаметром  $\sim 3 \div 4$  мм, максимальной глубиной  $\sim 500$  нм. Очевидно, что причиной откалывания верхнего слоя является многоуровневый характер надмолекулярной организации пирографита (изогнутые графитоподобные ленты со слабым трехмерным упорядочением, гранульные структурные элементы из упакованных лент, промежуточное состояние, связанное с разбиением гранул на блоки, слои гранул), а также ударные нагрузки в процессе длительной эксплуатации.

цессов сегодня применяются в точном электронном машиностроении при создании высокопроизводительного автоматического оборудования для сборки изделий микроэлектроники, в частности, в научных исследованиях и инжиниринге при разработке высокоскоростных прецизионных устройств – систем перемещения и позициони-

рования различного типа: зондового контроля, монтажа кристаллов, присоединения выводов, алмазной дисковой резки, укладки кристаллов и др.

Главная задача, в конечном счете, состоит в том, чтобы обеспечить согласованные перемещения различных устройств, рабочих инструментов и обрабатываемых изделий, при этом характеристики этих перемещений должны обеспечиваться на уровне, предельном для современного промышленного оборудования: линейная скорость более 1 м/с, ускорение до 30 G, точность позиционирования до 1 мкм. Нетрудно видеть, что верхняя граница пространственно-временной области, в которой должно работать сегодня сборочное оборудование, находится в микронном и микросекундном диапазоне.

Несмотря на то, что при конструировании данных устройств применяются современные методы и средства, в том числе системы автоматического проектирования и компьютерного моделирования, основывающиеся на математических моделях, адекватно описывающих поведение различных систем оборудования в широком диапазоне приложений, рассчитать и смоделировать динамическую картину работы многокоординатного привода в такой сложной системе, какой является современный сборочный автомат, можно лишь с определенным приближением, поскольку приводы в оборудовании для сборки микронных изделий работают с небольшими массами и моментами инерции и поэтому весьма чувствительны к отклонению их конструктивных характеристик и управляющих воздействий, а также к воздействию различных возмущающих факторов, к числу которых относятся и одновременная работа нескольких механизмов. Истинную картину поведения отдельных компонентов сборочного автомата можно получить только с помощью видеосистемы, обеспечивающей высокоскоростную съемку в реальном времени с последующим анализом полученной при этом информации.

Конструирование и отладку сложных электронных схем невозможно проводить без осциллографа. Высокоскоростная камера по своей сути подобна осциллографу, но применяется для регистрации неуловимых для невооруженного глаза механических движений. Визуальный анализ видеоряда любого высокоскоростного события в той или иной степени носит отпечаток субъективного восприятия, даже в случае профессионального подхода. Для устранения этой ущербности была разработана методика документирования исследуемого видеоряда с последующей количественной оценкой имеющих место особенностей развития зарегистрированных динамических явлений. Это даёт возможность с определённой степенью точности измерять значения отклонений рабочих и контрольных точек исполнительных

механизмов от заданной траектории, уровни паразитных механических связей в конструкциях, значения скоростей, ускорений, частоты и амплитуды их колебаний.

Методика документирования обрабатывалась на видеоряде, полученном при исследовании динамики одиночных циклов подвода электроразрядника (рис. 1, поз. 1) с помощью электромагнитного механизма к рабочему торцу сварного микроинструмента (рис.1, поз. 2) при проведении оплавления высоковольтным электроразрядом (рис. 1, поз. 4) кончика золотой микропроволоки (рис. 1, поз. 3) для получения шарика и последующего возврата разрядника на исходную позицию.

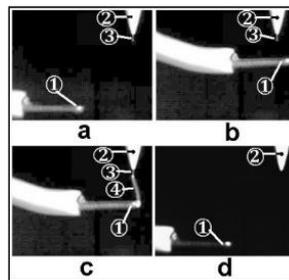


Рисунок 1 – Скриншоты ключевых моментов видеоряда одиночного цикла подвода/отвода электроразрядника:

- a* – исходная позиция; *b* – подвод электроразрядника;
- c* – высоковольтный электроразряд; *d* – отвод электроразрядника на исходную позицию;
- 1 – электроразрядник; 2 – сварной микроинструмент;
- 3 – кончик золотой микропроволоки;
- 4 – высоковольтный электроразряд

В ходе обработки исследуемого фрагмента видеоряда был получен набор кадров, которые были программно совмещены в один графический файл (кинемограмма) с сохранением характерных точки (кончик разрядника) и текущего времени процесса (рис. 2).

Таким же образом были получены кинемогаммы процесса паразитных колебаний рабочего торца сварного микроинструмента во время подвода электроразрядника (рис. 2) и во время срабатывания электромагнитного механизма зажима микропроволоки (рис. 3).

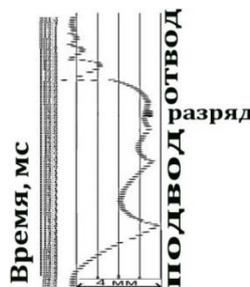


Рисунок 2 – Кинемогамма одиночного цикла подвода/отвода электроразрядника



Рисунок 3 – Кинемограмма процесса нежелательных колебаний рабочего торца сварного микроинструмента (поз. 1) во время срабатывания электромагнитного механизма зажима микропроволоки

Анализ кинемограммы (рис. 3) позволяет определить уровень паразитной механической связи «механизм зажима микропроволоки – сварной микроинструмент» в конструкции сварочной головки, вызывающей колебания рабочего торца сварного микроинструмента амплитудой порядка  $\sim 40$  мкм,  $>4$  периодов частотой  $f \approx 385$  Гц.

В процессе R&D прецизионных устройств с большим количеством степеней свободы мелочей не бывает, но невозможно всё учесть. Анализ кинемограмм, подобных представленным, позволяет выявить ошибки расчётов и довести разрабатываемую конструкцию до совершенства.

#### Литература

1. Волкенштейн С.С., Коваль В.Я., Мазаник В.М. Исследование быстропротекающих процессов // Наука и инновации. – 2008. – № 2. – С. 34–35.

УДК 544.22+544.08

### СТРУКТУРА И МОРФОЛОГИЯ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ $WO_3-In_2O_3$ Гайдук Ю.С.<sup>1</sup>, Реутская О.Г.<sup>2</sup>, Савицкий А.А.<sup>1</sup>, Таратын И.А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>ОАО «Минский НИИ радиоматериалов»  
Минск, Республика Беларусь

Ранее была изучена чувствительность к ряду газов восстановительной и окислительной природы двухфазной оксидной композиции  $WO_3-In_2O_3$ , полученной золь-гель методом. Обнаружена высокая газовая чувствительность ( $S \leq 2 \times 10^5$  %) данной композиции к диоксиду азота, что позволило изготовить селективные газовые сенсоры  $NO_2$  с низким порогом определения (1 ppm и менее), рабочей температурой  $< 200$  °С, низкой чувствительностью к газам-восстановителям [1, 2]. В настоящей работе представлены результаты исследования структурных и морфологических свойств композиции.

**Методика эксперимента.** Методика получения композиций приведена в предыдущей публикации [1].

Метод СЭМ применяли для изучения структуры поверхности поликристаллических и плёночных образцов. Образцы изучали при помощи сканирующего электронного микроскопа LEO 1420. Одновременно методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX-анализ) определяли соотношение концентрации атомов металлов в образцах.

Для оценки распределения частиц по размерам использовался относительный метод обсчёта при помощи построения гистограмм, показывающих частоту повторения частиц каждого класса в расчёте на 1000 обчисленных частиц всех классов в сумме.

Метод ПЭМ применяли для изучения размеров и морфологии структуры композиций на микроскопе Hitachi H-800 с ускоряющим напряжением 200 кэВ. Препарирование образцов для просмотра в электронном микроскопе и регистрации электронограмм проводили путём отжига при необходимой температуре с последующим диспергированием ультразвуком в водной среде. Суспензию наносили на поливинилформальевые опорные сетки.

Спектры ЭПР образцов регистрировались на спектрометре RadioPan SE/X–2543 с резонатором  $H_{102}$  в X-диапазоне при комнатной температуре. Частота модуляции магнитного поля составляла 100 кГц, амплитуда – 0,1 мТл. Частота СВЧ излучения в резонаторе  $\sim 9,3$  ГГц контролировалась частотомером, поляризующее магнитное поле – датчиком ядерного магнитного резонанса.

ИК-спектры записывали на спектрометре AVATAR 330 (Thermo Nicolet) в области волновых чисел ( $\nu$ )  $400 - 700$   $cm^{-1}$  с точностью  $\pm 1$   $cm^{-1}$ . Запись производили методом диффузионного отражения при помощи приставки Smart Diffuse Reflectance.

Образцы, высушенные при 20 °С в течение 24 ч, исследовали при помощи синхронного термического анализатора Netzsch STA-449c «Jupiter» в температурной области 20 – 600 °С при скорости нагрева 5°/мин.