

программой «Создатель ЭЦП» разработана программа «Верификатор», которая, в частном случае, написана на языке Java, запускается на ПЭВМ под управлением MS Windows и при предъявлении на верификацию фотодокумента либо подтверждает достоверность заявленной ЭЦП, либо отрицает ее, а также выводит хранящуюся в фотоснимке информацию о месте и времени съемки.

Литература

1. *Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В.* Цифровая стеганография – М.: СОЛОН-ПРЕСС. – 2009. – 265 с. ISBN: 5-98003-011-5
2. ГОСТ Р 34.10 - 2012 – Процессы формирования и проверки электронной цифровой подписи.
3. ГОСТ Р 34.11-2012 - Информационная технология. Криптографическая защита информации. Функция хэширования.
4. Патент РФ 2176823 G09C5/00, G06K19/00, H04N1/44 Программно-реализуемый цифровой способ защиты от подделок и устройство для осуществления способа
5. *Шалькевич В.В.* Обеспечение достоверности цифровых фотоснимков // Законность и правопорядок, 2008, №1(5) (http://www.law.bsu.by/pub/11/shalkevich_1.pdf)
6. Standard of Japan Electronics and Information Technology Industries Association JEITA CP-3451. Exchangeable image file format for digital still cameras: Exif Version 2.2. - 2002. (<http://www.exif.org/Exif2-2.PDF>).

9. Математическая обработка выходного оптического изображения матрицы неохлаждаемых биматериальных приёмников ИК-диапазона методом особенность-ориентированного сканирования

Лапшин Р.В.^{1,2}, Хафизов Р.З.¹, Фетисов Е.А.¹

¹Московский институт электронной техники, Москва, Зеленоград, Россия

²НИИ Физических проблем им. Ф. В. Лукина, Москва, Зеленоград, Россия

В настоящее время активно развивается направление неохлаждаемых микромеханических биматериальных ИК-приёмников [1, 2]. В Московском институте электронной техники разработана и изготовлена матрица МЗ-50, состоящая из 32×32 неохлаждаемых микромеханических биматериальных ИК-приёмников [3]. Матрица представляет собой микрооптомеханическую систему (МОМС), в которой считывание ИК-изображения осуществляется оптическим способом. Матрица предназначена для получения тепловых изображений в диапазоне 8-14 мкм.

Принцип работы чувствительного элемента матрицы (см. Рис. 1а) основан на термомеханическом эффекте, в соответствии с которым при изменении температуры приёмной площадки происходит изгиб биматериальной микроконсоли. Изгиб возникает из-за разности коэффициентов теплового расширения пары материалов, из которых изготовлена биматериальная микроконсоль (нитрид кремния и алюминий). В качестве приёмной площадки выступает микроминиатюрная мембрана субмикронной толщины из нитрида кремния, покрытая тонкой нихромовой плёнкой. Эта же площадка играет роль зеркала при считывании матрицы в видимом диапазоне спектра. Изменение температуры источника ИК-излучения на 1 К вызывает в подобных ИК-приёмниках отклонение мембраны на несколько сотен нанометров [1-4], что может быть вполне надёжно зафиксировано современными измерительными средствами.

На Рис. 1б показано изображение одиночного биматериального чувствительного элемента ИК-матрицы, полученное на оптическом профилометре (интерференционном микроскопе) Wyko NT9300 (Bruker, Германия) при большом увеличении [5, 6]. На рисунке хорошо видна мембрана повышенной жёсткости. Мембрана висит над

подложкой на микроконсолях. Расстояние между мембраной и подложкой составляет примерно 0.5 мкм. Сквозные отверстия в мембране улучшают доступ травителя к жертвенному слою из SiO₂ при изготовлении прибора. На микроконсолях чётко видны хорошо отражающие свет биматериальные участки из алюминия.

На Рис. 2 показано созданное матрицей выходное оптическое изображение, зарегистрированное (считанное) с помощью оптического профилометра. Измерения выполнялись в вакууме 10⁻³ тор при температуре чёрного тела 50°C. Используемый профилометр обеспечивает бесконтактный способ измерения топографии поверхности с перепадами высоты до 10 мм. Предельное вертикальное разрешение профилометра составляет 0.1 нм, латеральное разрешение – 0.6 мкм. Измерения оптического отклика от биматериального ИК-приёмника МОМС выполнялись в режиме вертикальной сканирующей интерферометрии высокого разрешения (ВСИВР) [5, 7].

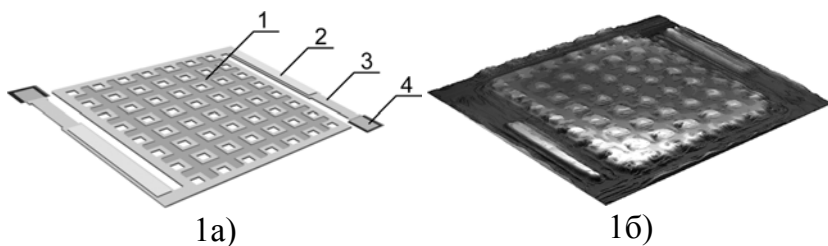


Рис. 1. Неохлаждаемый биматериальный чувствительный элемент ИК-матрицы М3-50. Размеры элемента 50×50 мкм². (а) Конструкция чувствительного элемента: 1 – приёмная мембрана-зеркало, 2 – биматериальная микроконсоль, 3 – участок термоизоляции микроконсоли, 4 – место крепления микроконсоли к подложке (якорь). (б) Изображение чувствительного элемента, полученное на оптическом профилометре Wyko NT9300. Увеличение 101×, режим ВСИВР, сшивка

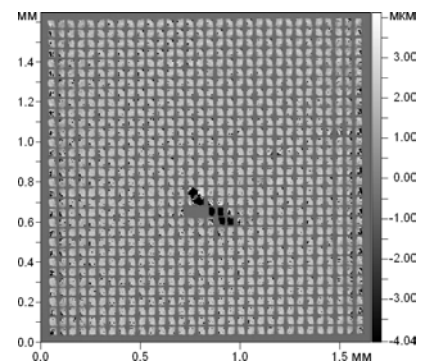


Рис. 2. Оптическое изображение 555×555 точек матрицы М3-50, состоящей из 32×32 неохлаждаемых биматериальных ИК-приёмников. Изображение получено на оптическом профилометре. Увеличение 10.2×, режим ВСИВР. Места, где профилометр из-за сильного наклона краёв мембран не смог произвести считывание, показаны условно чёрным цветом. Примерно в центре матрицы хорошо виден производственный дефект. Измерения выполнены в вакууме 10⁻³ тор при температуре чёрного тела 50°C.

Поскольку площадь, занятая чувствительными элементами, непосредственно формирующими изображение, составляет примерно 70% по отношению к общей площади матрицы, то получаемое оптическое изображение включает значительное количество точек,

которые не несут никакой полезной информации об изображаемом ИК-объекте (см. Рис. 1, Рис. 2). К таким точкам относятся промежутки между ИК-приёмниками и области, занимаемые элементами подвески мембран (участки термоизоляции микроконсолей, места крепления микроконсолей к подложке). Таким образом, перед выдачей оператору окончательной картинки оцифрованное оптическое изображение матрицы должно быть подвергнуто математической обработке, в ходе которой из изображения следует удалить всю информацию, не относящуюся к наблюдаемой ИК-сцене.

Поскольку изображение поверхности каждой мембраны даже при невысоком латеральном увеличении профилометра состоит из многих точек (от сотен до нескольких тысяч), то это множество точек следует представить на выходном изображении одной единственной точкой. Таким образом, на выходе программы математической обработки должно быть получено изображение с размерностью исходной матрицы, т. е. 32×32 точки, где яркость каждой точки такого изображения это среднее значение яркостей точек, принадлежащих соответствующей мембране.

Анализ сформулированных выше особенностей задачи показывает, что для эффективной математической обработки полученного изображения следует использовать методы распознавания. Для построения адекватного алгоритма распознавания было решено вначале провести математическую обработку изображения с помощью уже существующей программы распознавания, а затем, основываясь на полученном опыте, сформулировать требования к алгоритму и написать собственную программу распознавания, которую впоследствии можно будет встроить в серийный прибор.

В качестве программы распознавания использовалась программа особенность-ориентированного сканирования (ООС) [8], разработанная в НИИ Физических проблем им. Ф. В. Лукина. Основным назначением программы ООС является управление сканирующим зондовым микроскопом (СЗМ) и проведение осебточных измерений топографии и свойств поверхности в наноскопическом масштабе. В настоящее время программа ООС внедрена в Лаборатории твердотельной нанотехнологии указанного института и управляет серийным прибором Solver™ P4 (НТ-МДТ, Россия).

Помимо реального сканирования программа ООС способна выполнять виртуальное сканирования. В этом режиме на вход программы подаётся изображение рельефа поверхности (реальное или синтезированное), которое программа “сканирует” и распознаёт, моделируя работу зондового микроскопа. В нашем случае на вход программы ООС подавалось полученное на профилометре оптическое изображение, представленное на Рис. 2. В таком изображении в качестве особенностей поверхности выступают отдельные ИК-приёмники (мембраны-зеркала) распознаваемой матрицы. Особенности поверхности используются программой ООС как опорные точки.

На Рис. 3 показан результат работы программы ООС – изображение матрицы, собранное из отдельных фрагментов (сегментов). Чтобы избежать во время распознавания возникновения сложных контуров особенностей и сдвига координат особенностей, чёрные точки были временно заменены на белые. Поскольку фрагменты частично перекрываются, а относительные координаты между ними точно определены программой ООС, то реконструированное изображение ничем не отличается от исходного.

На Рис. 4 показана траектория связывания особенностей в цепочку, автоматически строящаяся в процессе ООС. Обычно образующаяся траектория связывания внешне напоминает растр. При отсутствии мембран в положенных местах, например, в случае ИК-матриц с дефектами, правильный ход траектории связывания нарушается. Тонкими линиями показаны “перемещения СЗМ-зонда” от особенности к особенности. Методу ООС безразлично, каким образом расположены распознаваемые элементы рельефа, поэтому нарушение порядка в расположении чувствительных элементов в матрице с дефектами не влияет на конечный результат математической обработки. Это означает, что для работы ООС не требуется никакой априорной информации о взаимном расположении чувствительных элементов анализируемой матрицы.

На Рис. 5 приведено искомое оптическое изображение 32×32 точки, создаваемое ИК-матрицей. Каждая точка изображения (точки имеют квадратную форму) представляет собой отклик соответствующего биматериального ИК-приёмника,

изображённого на Рис. 2. Тёмным точкам соответствуют приёмники с сильно деформированными мембранами, чёрным точкам – с полностью отсутствующими мембранами.

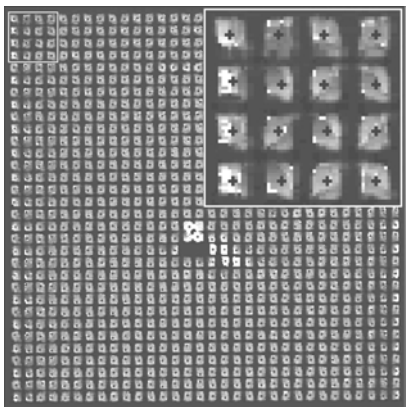


Рис. 3. Результат распознавания ИК-матрицы программой ООС. Изображение поверхности собрано из отдельных фрагментов (сегментов). Распознанные элементы матрицы (мембраны) помечены значком “+”

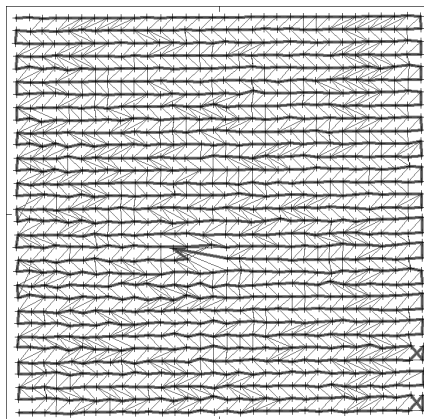


Рис. 4. Похожая на растр траектория связывания особенностей в цепочку. Траектория возникает в ходе виртуального ООС. Позиции обнаруженных особенностей (мембран матрицы) отмечены значком “+”. Тонкими линиями показаны “перемещения СЗМ-зонда”

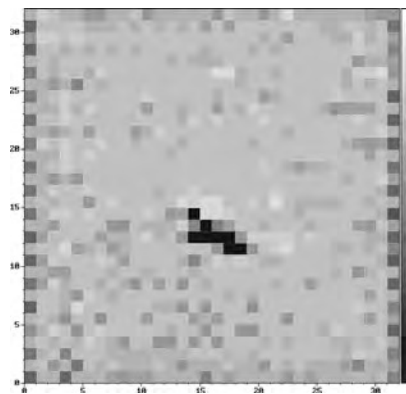


Рис. 5. Искомое оптическое изображение 32×32 точки, даваемое ИК-матрицей 32×32 при её равномерной засветке источником ИК-излучения (модель чёрного тела) с температурой 50°C . Каждая точка представляет собой отклик соответствующего биматериального ИК-приёмника (точки изображены в виде квадратиков). Изображение получено в результате математической обработки по методу ООС. Тёмным точкам соответствуют сильно деформированные мембраны, а чёрным точкам – полностью отсутствующие

Деформация мембран обычно связана с изгибом краёв мембраны вследствие коробления. Коробление вызвано нескомпенсированностью в мембране механических напряжений, возникающих в процессе изготовления прибора. Искомое изображение построено с помощью адаптированного под рассматриваемую задачу сборщика поверхности. Сборщик поверхности – это специальная программа, входящая в состав пакета ООС, которая строит из сегментов реконструированное изображение поверхности.

При равномерной засветке матрицы ИК-излучением, например, от протяжённой излучающей площадки модели чёрного тела полученный массив сигналов выходного изображения может использоваться для коррекции неодинаковой термомеханической чувствительности элементов матрицы. Информация о чувствительности каждого элемента может сохраняться в памяти ИК-камеры и затем учитываться при обработке каждого кадра. Неодинаковость откликов биматериальных ИК-приёмников связана со всегда имеющим место технологическим разбросом размеров, различиями в составе и в структуре используемых материалов, неоднородностью методов обработки по поверхности пластины и т. п.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (государственные контракты № 14.430.12.0004,

№ 14.429.11.0002) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-08-00001). Авторы выражают благодарность А. М. Белину за обсуждения и помощь, оказанную при проведении измерений, В. И. Золотарёву и Г. А. Рудакову за изготовление экспериментальных образцов.

[1] P. G. Datskos, N. V. Lavrik, S. Rajic, Performance of uncooled microcantilever thermal detectors, *Review of Scientific Instruments*, vol. 75, no. 4, pp. 1134-1148, 2004.

[2] S. R. Hunter, G. S. Maurer, G. Simelgor, S. Radhakrishnan, J. Gray, High-sensitivity 25 μm and 50 μm pitch microcantilever IR imaging arrays, *Proc. of SPIE "Infrared Technology and Applications XXXIII"*, ed. by B. F. Andresen, G. F. Fulop, P. R. Norton, vol. 6542, pp. 1-13, 2007.

[3] Р. З. Хафизов, Е. А. Фетисов, Р. В. Лапшин, Е. П. Кириленко, В. Н. Анастасьевская, И. В. Колпаков, Термомеханическая чувствительность неохлаждаемого биматериального приёмника ИК-диапазона, построенного по технологии микрооптомеханических систем, *Успехи прикладной физики*, том 1, № 4, стр. 520-523, 2013 (www.niifp.ru/staff/lapshin/).

[4] Д. Б. Рыгалин, Е. А. Фетисов, Р. З. Хафизов, В. И. Золотарев, И. А. Решетников, Г. А. Рудаков, Р. В. Лапшин, Е. П. Кириленко, Перспективные интегральные матричные приемники теплового излучения с оптическим считыванием, *Известия высших учебных заведений. Электроника*, № 3, стр. 60-63, 2013 (www.niifp.ru/staff/lapshin/).

[5] F. M. Serry, T. A. Stout, M. J. Zecchino, C. Ragan, P. A. Browne, 3D MEMS metrology with optical profilers, Veeco Instruments Inc., Tucson, USA, pp. 1-4, 2006.

[6] E. Novak, Low-noise interferometry enables characterization of steep and rough surfaces, Veeco Instruments Inc., Tucson, USA, pp. 1-4, 2008.

[7] J. Schmit, K. Creath, J. C. Wyant, Surface profilers, multiple wavelength, and white light interferometry, ch. 15, p. 667, *Optical shop testing*, edited by D. Malacara, 3rd edition, 862 pp., John Wiley & Sons, Inc., 2007.

[8] R. V. Lapshin, Feature-oriented scanning methodology for probe microscopy and nanotechnology, *Nanotechnology*, vol. 15, iss. 9, pp. 1135-1151, 2004 (www.niifp.ru/staff/lapshin/).

10. Математическое моделирование газодинамических условий при осаждении легированных слоев CdHgTe из паров ртути и МОС (МОСVD-метод)

Шабарова Л.В., Моисеев А.Н., Чилиясов А.В., Степанов Б.С.

Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород, Россия

Введение

Понимание тепловых и газодинамических особенностей взаимодействия потоков реагентов в процессе роста эпитаксиальных слоев в конкретном МО CVD реакторе позволит целенаправленно изменять условия эксперимента с целью получения структур с необходимыми свойствами.

Целью работы является разработка методики количественной оценки влияния газодинамических условий и геометрических размеров элементов ввода летучих реагентов в вертикальный МОСVD реактор на однородность газового потока вблизи подложки при осаждении легированных эпитаксиальных слоев CdHgTe (КРТ).