

Таким образом, описанное устройство для термообработки полупроводниковых пластин обеспечивает быстрый нагрев и охлаждение образцов в восстановительной среде (водороде), что создает необходимые условия для равномерной рекристаллизации и улучшения морфологии ОК в процессе сплавления металлизации. Учет зависимости режимов термообработки от массы пластины при изготовлении СВЧ полупроводниковых приборов (ПТШ, диодов, МИС) позволяет оптимизировать технологические процессы формирования ОК.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Piotrowska A., Guivac'h A., Pelous G. Ohmic contacts to III-V compound semiconductors: A review of fabrication techniques // Solid-St. Electron. — 1983. — Vol. 26, N 3. — P. 179—197.
2. Каганович Э. Б., Свешников С. В. Получение омических контактов к полупроводниковым соединениям A_3B_5 (обзор) // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. — 1992. — Вып. 22. — С. 1—16.
3. Robinzon G. Y. Metallurgical and electrical characterization of metal-semiconductor contacts // Thin Solid Films. — 1980. — Vol. 72, N 1. — P. 129—141.
4. Braslau M. Alloyed ohmic contacts to GaAs // J. Vac. Sci. Technol. — 1981. — Vol. 19, N 3. — P. 803—807.

5. Брянцева Т. А., Лакашин В. В., Любченко В. Е. Особенности коалесценции тонких пленок Au—Ge при формировании контактов ограниченных размеров // Физика твердого тела. — 1988. — Т. 30, вып. 3. — С. 645—648.

6. Воложенинов И. О., Иващук А. В. Оптимальные режимы термообработки омических контактов к *n*-GaAs // Электронная техника. Сер. Полупроводниковые приборы. — 1981. — Вып. 5. — С. 74—75.

7. Иващук А. В. Формування омичних контактів з одночасним очищенням поверхні арсеніду галію і її легуванням атомами германію // Наукові вісті. — 2000. — Вып. 2. — С. 5—8.

8. Патент 16522 Украины от 29.08.97. Спосіб виготовлення структур польових транзисторів з бар'єром Шотткі // В. І. Босий, А. В. Иващук, В. П. Кохан та ін.

9. Патент 16341 Украины от 29.08.97. Випарник для наплення речовини в вакуумі // А. В. Иващук, В. Г. Корнус, В. П. Кохан, В. М. Яшник.

10. А. с. 299219 Украины от 1.08.1989. Способ изготовления омического контакта к полупроводниковому соединению A_3B_5 с проводимостью *n*-типа // В. И. Босий, А. В. Иващук, В. П. Кохан, М. А. Стовповой.

11. Курин В. В., Кравченко Л. Н., Уралов А. А. и др. Свойства омических контактов к арсениду галлия на основе систем Au—Ge—Ni // Электронная промышленность. — 1990. — № 3. — С. 30—32.

К. т. н. В. Н. КРЫЛОВ, к. т. н. С. Г. АНТОЩУК,
к. т. н. Г. Ю. ЩЕРБАКОВА

Украина, Одесский политехнический университет

По материалам доклада на МНПК «Современные информационные и электронные технологии» («СИЭТ-2000»). — 23—26 мая 2000 г., Одесса

ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Решаются задачи распознавания текстур и объектов на фоне текстуры при контроле материалов и поверхностей изделий электронной техники.

С ростом степени интеграции и функциональной сложности микросхем становятся жестче требования к контролю состояния материалов электронной техники. Создание современных БИС и СБИС, линий задержки, фильтров требует использования надежных средств контроля качества материалов и поверхностей исходных пластин в процессе их технологической обработки. Вместе с тем традиционно используемые в производстве способы контроля основываются на трудоемких и субъективных визуальных методах. Таким образом, остается актуальной задача автоматизации визуального дефектоскопического контроля материалов с текстурированной

поверхностью путем применения компьютерных систем обработки и анализа изображений.

Необходимость в автоматизации визуального дефектоскопического контроля материалов с текстурированной поверхностью возникает также в исследовательских работах, например, при замене применяемых в составе резистивных паст благородных металлов и их соединений новыми, более дешевыми материалами [1] (рис. 1), при обнаружении дефектов (дислокаций несоответствия) [2] (рис. 2), при анализе форм проявления эффектов рассеяния в процессе формирования масок [3] (рис. 3) и т. д.

Приведенные изображения пленок и материалов относятся к текстурным, т. е. имеют, в основном, повторяющуюся структуру. Изображения дефектов (пор) на изображениях образцов твердого раствора $BaV_6 - LaV_6$ (рис. 1, п — поры), дислокаций несоответствия на границе раздела (100)CdTe/(100)GaAs (рис. 2), формы проявления эффектов рассеяния во внутренней части регу-

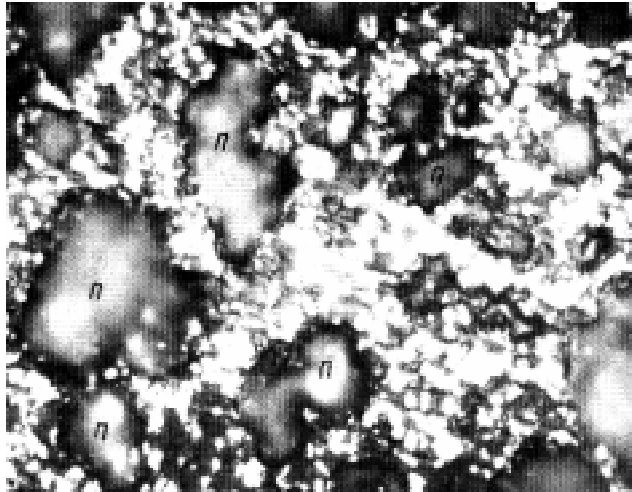


Рис. 1



Рис. 2

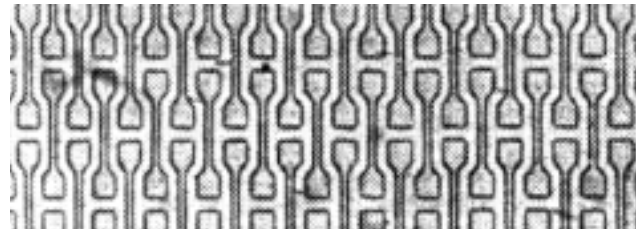


Рис. 3

лярного массива элементов (смыкание ячеек на наклонных участках зазоров) (рис. 3) выглядят нарушением этой структуры.

При создании автоматических систем дефектоскопического контроля качества материалов и поверхностей сталкиваются с двумя задачами, характерными для такого класса изображений, — с распознаванием типа текстурно-однородных областей и распознаванием объекта на фоне текстуры.

При *распознавании текстур* на изображении проводят сегментацию изображения по текстурным признакам, распознавание и классификацию текстур в текстурно-однородном фрагменте. Для распознавания и классификации текстур в текстурно-однородных областях авторами использовались геометрические моменты-признаки (ГМП) энергетического спектра текстурного изображения [4] и предусмотрены следующие операции: 1) вычисление энергетического спектра текстурно-однородной области изображения; 2) выделение, прослеживание и анализ контуров на двумерном энергетическом спектре (при этом в общем случае будет наблюдаться многосвязная область или несколько областей); 3) определение ГМП каждого из исследуемых контуров; 4) выделение наиболее информативных признаков, минимизация и ортогонализация признакового пространства; 5) классификация.

При классификации в качестве эталонов использовались усредненные энергетические спектры распознаваемых классов текстур. Центр тяжести и нормировочный множитель рассчитывались по внешней контуру энергетического спектра. В некоторых случаях оказалось целесообразным использовать и признаки другого типа, учитывающие взаимное положение изолированных областей энергетического спектра.

При *распознавании объекта* в текстурно-однородной области изображения допускают, что текстура в какой-то области изображения однородна и имеется усредненный энергетический спектр этого класса текстур. Авторами предложен следующий алгоритм распознавания объекта на фоне текстуры:

1) производится сегментация изображения на текстурно-однородные области; 2) в текстурно-однородных областях производится распознавание текстур по алгоритму, описанному выше; спектральная плотность обрабатываемого фрагмента запоминается; 3) спектральная плотность обрабатываемого фрагмента делится поэлементно на усредненный энергетический спектр данного класса текстур; 4) вычисляется обратное преобразование результата деления, т. е. мы возвращаемся в исходную пространственную область (влияние текстуры на результаты распознавания объектов при этом снижается); 5) производится обнаружение и распознавание объекта в обрабатываемом фрагменте на базе алгоритма, описанного в работах [4, 5].

При *вычислении геометрических характеристик* объектов и текстур был использован разработанный авторами метод, использующий только информацию о точках наибольшей кривизны, т. е. так называемых “характерных точках” (ХТ) [4, 5]. При определении ГМП по ХТ обычное интегрирование теряет смысл, и в данной работе для вычисления моментов предлагается использовать интегрирование по Лебегу. Выражение для вычисления ГМП при этом принимает вид

$$\mu_p = \iint_A \rho^p Q(\rho, \varphi) \psi(X \cap A),$$

где A — множество действительных чисел;

ρ — радиус-векторы ХТ;

p — порядок ГМП;

Q — множество характерных точек контура;

φ — фаза ХТ;

ψ — мера на множестве действительных чисел;

X — подмножество действительных чисел $x(\rho, \varphi)$ координат характерных точек контура фигуры в полярной системе координат.

$$Q(\rho, \varphi) = \begin{cases} 1, \rho = \rho_i, \varphi = \varphi_i; \\ 0, \rho \neq \rho_i, \end{cases}$$

где $i = 1, \dots, J$; J — число ХТ контура объекта.

Таким образом, в дискретном виде

$$\mu_p = \sum_{i=1}^p \rho_i^p \psi[x(\rho_i, \varphi_i) \cap A].$$

Мерой Лебега в полярной системе координат является площадь треугольника

$$S_{\Delta} = \frac{1}{2} \rho_{i+1} \rho_i \sin(\varphi_{i+1} - \varphi_i).$$

Выражение для вычисления моментов при этом принимает вид

$$\mu_p = \left| \sum_{i=0}^J \rho_i^{*(p+2)} \sin(\Delta\varphi_i) \right|, \quad (1)$$

где $\rho_i^* = \sqrt{\rho_i \rho_{i+1}}$ — среднее геометрическое радиус-векторов;

$\Delta\varphi_i = \varphi_{i+1} - \varphi_i$ — разность фаз между i -й и $(i+1)$ -й ХТ.

Это выражение берется по модулю, т. к. направление обхода ХТ контура определяет знак ГМП, но не интересующее нас абсолютное значение. Выражение, однако, не обладает инвариантностью к масштабу, в связи с чем необходимо произвести нормировку радиус-векторов. Машинный эксперимент показал, что наибольшей помехоустойчивостью обладает расчетная площадь фигуры S . Поэтому для нормировки предлагается использовать коэффициент

$$\rho_{\text{норм}} = \sqrt{\frac{S}{2\pi}}.$$

Значение $\rho_{\text{норм}}$ прямо пропорционально масштабу фигуры и, следовательно, пригодно для нормировки. Тогда выражение (1) можно преобразовать к виду

$$C_p = \left| \sum_{i=0}^J \rho_{i0}^{*(p+2)} \sin(\Delta\varphi_i) \right|, \quad (2)$$

$$\rho_{i0}^* = \rho_i^* / \rho_{\text{норм}}.$$

В случае если $\Delta\varphi_i$ достаточно мало, т. е. характерных точек достаточно много, можно считать, что $\sin(\Delta\varphi_i) \approx \Delta\varphi_i$. Тогда выражение (2) принимает вид

$$C_p = \left| \sum_{i=0}^J \rho_{i0}^{*(p+2)} \Delta\varphi_i \right|.$$

Именно значения C_p и предлагается использовать как вектор признаков.

Количество обрабатываемых характерных точек не менее чем на порядок меньше количества точек контура.

Уменьшение объема обрабатываемой информации определяет высокую вычислительную эффективность процедуры расчета признаков формы. Набор при-

знаков инвариантен к масштабу, повороту и сдвигу объекта в поле зрения. Интегральный характер ГМП определяет высокую помехоустойчивость метода. Сглаживающие свойства ГМП определяют помехоустойчивость разработанных методов распознавания, однако ограничивают область их применения. Происходит сглаживание малоразмерных (1–2 пикселя) деталей объектов. Поэтому для задач, в которых такие детали являются отличительными признаками, разработанные методы непригодны.

На базе представленного метода разработана автоматизированная система обработки данных визуального дефектоскопического контроля материалов электронной техники. Высокая помехоустойчивость метода позволяет значительно снизить требования к осветительно-фокусирующей аппаратуре и к телевизионным датчикам, что значительно снижает стоимость такой системы. Степень сжатия обрабатываемых данных близка к потенциально возможному барьеру, что определяет вычислительную эффективность системы.

Предложенный метод можно рекомендовать для широкого круга задач, в которых производится обработка большого объема данных визуального контроля материалов электронной техники в реальном масштабе времени или обработка и распознавание трехмерных изображений. Разработанная автоматизированная система визуального дефектоскопического контроля показала свою высокую эффективность в задачах распознавания объектов на однородном и текстурированном фоне, а также при распознавании текстур по форме их энергетического спектра.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Виницкий И. М., Рудь Б. М., Тельников Е. Я. Свойства толстых резистивных пленок на основе $\text{Ba}_6\text{V-LaB}_6$ // Электронная промышленность. — 1987. — № 6. — С. 5–13.
2. Румянцева С. Н., Дударев А. Т., Щекочихин Ю. М. Молекулярно-пучковая эпитаксия теллурида кадмия на арсениде галлия // Электронная промышленность. — 1989. — № 8. — С. 14–18.
3. Смоляницкий И. Я., Гузь И. В., Огурцов А. И. Формирование резистивной маски с проектными нормами 0,8...0,5 мкм в процессе прямой электролитографии // Электронная промышленность. — 1989. — № 4. — С. 16–18.
4. Крылов В. Н., Максимов М. В. Вторичные преобразователи сигналов изображений. — Одесса: Астропринт, 1997.
5. Крылов В. Н., Антошук С. Г. Обнаружение и распознавание ориентиров при обработке аэрокосмических данных в системах экологического мониторинга водной поверхности // Тр. Одес. политехн. ун-та. Одесса, 1997. — Вып. 2. — С. 124–127.