

УДК 621.382.8.002

ЦВЕТОВАЯ ДИАГНОСТИКА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ

С.Ф. СЕНЬКО, А.С. СЕНЬКО

*Физико-технический институт НАН Беларуси
Купревича, 10, Минск, 220141, Беларусь*

Поступила в редакцию 1 июня 2003

Установлена зависимость между параметрами топографических дефектов поверхности полупроводниковых пластин и интенсивностью их изображения на топограммах. Предложены критерии и разработана методика количественной оценки топографических несовершенств поверхности, позволяющая проводить быструю сортировку полупроводниковых пластин по группам качества. Показано, что использование метода цветового деления позволяет значительно упростить процесс контроля и повысить его информативность.

Ключевые слова: оптическая топография, компьютерная диагностика, метод деления цвета.

Введение

Повышение степени интеграции ИС характеризуется все возрастающим влиянием топографических дефектов на параметры и выход изготавливаемых структур. Поэтому одной из задач в этой области является оперативный количественный контроль топографических дефектов поверхности полупроводниковых пластин.

Перспективным методом контроля дефектов поверхностей высокого класса обработки является оптическая топография [1]. Основными достоинствами данного метода являются простота, возможность оперативного получения информации обо всех имеющихся на пластине топографических дефектах, высокие разрешающая способность и производительность. Однако оптические топограммы позволяют получать сугубо качественную информацию о дефектах контролируемой поверхности, которой недостаточно для принятия решения о пригодности пластины для изготовления ИС той или иной степени сложности. В большинстве случаев требуется количественная оценка качества подготовки поверхности пластин. Такая оценка может быть проведена при помощи компьютерной диагностики получаемых светотеневых изображений.

В настоящей работе рассмотрены вопросы компьютерной диагностики изображений топографических дефектов и принципы количественного анализа с помощью метода цветового деления. Приведены сведения о программе обработки полученных изображений.

Влияние параметров дефектов на интенсивность их светотеневого изображения

Метод оптической топографии предельно прост. Свет от точечного источника излучения падает на контролируемую поверхность пластины, отражается от нее и попадает на экран. На экране появляется светотеневое изображение контролируемой поверхности. Размеры получаемого изображения пропорциональны размерам пластины и зависят от расстояний от источника света до пластины и от пластины до экрана. Поскольку любой топографический дефект проявляется как локальная неровность поверхности, их наличие приводит к локальному изме-

нению угла отражения света по отношению к углу отражения плоскостью пластины в целом. Это приводит к появлению светотеневых пятен на экране в местах, соответствующих расположению данных дефектов. Наличие ямки приводит к фокусировке отраженного света, что на топограмме проявляется в появлении более светлого по сравнению со средней освещенностью топограммы пятна. Наличие бугорка, наоборот, приводит к расфокусировке света, что проявляется в появлении на топограмме темного пятна. Форма и размеры светотеневых пятен зависят от размеров дефектов в плане, а их интенсивность – от размеров дефектов в глубину (высоту). Наиболее глубокие ямки и грубые бугорки, как правило, видны невооруженным глазом при контроле пластины в свете люминесцентной лампы.

В работе [2] показано, что радиус кривизны R топографического дефекта связан с интенсивностью его светотеневого изображения следующим соотношением:

$$R = 2a \frac{\sqrt{J_2}}{\sqrt{J_2} - \sqrt{J_1}}, \quad (1)$$

где a — расстояние от контролируемой поверхности до экрана; J_1 и J_2 — среднее значение интенсивности всего светотеневого изображения и значение интенсивности изображения рассматриваемого дефекта соответственно. Отсюда получаем:

$$\sqrt{J_2} = \frac{R \sqrt{J_1}}{R - 2a}. \quad (2)$$

Из выражения (2) видно, что относительная яркость изображения дефектов зависит практически только от величины R , поскольку J_1 и a являются константами для конкретной конструкции установки оптической топографии. Изменение радиуса кривизны поверхности, по сути, отражает ее микрорельеф, и, поскольку величина J_2 является функцией R , в большинстве случаев в качестве количественного критерия качества контролируемой поверхности можно принять значение яркости светотеневых пятен. Годной пластиной в данном случае можно признать ту, у которой величина J_2 по всей контролируемой площади укладывается в некоторый заданный интервал значений. По мере отклонения величины J_2 на отдельных участках от заданного интервала судят о дефектности пластины.

Таким образом, интенсивность светотеневых пятен на топограммах полупроводниковых пластин отражает параметры топографических дефектов и может служить количественным критерием качества контролируемой поверхности.

Цветовая диагностика изображений

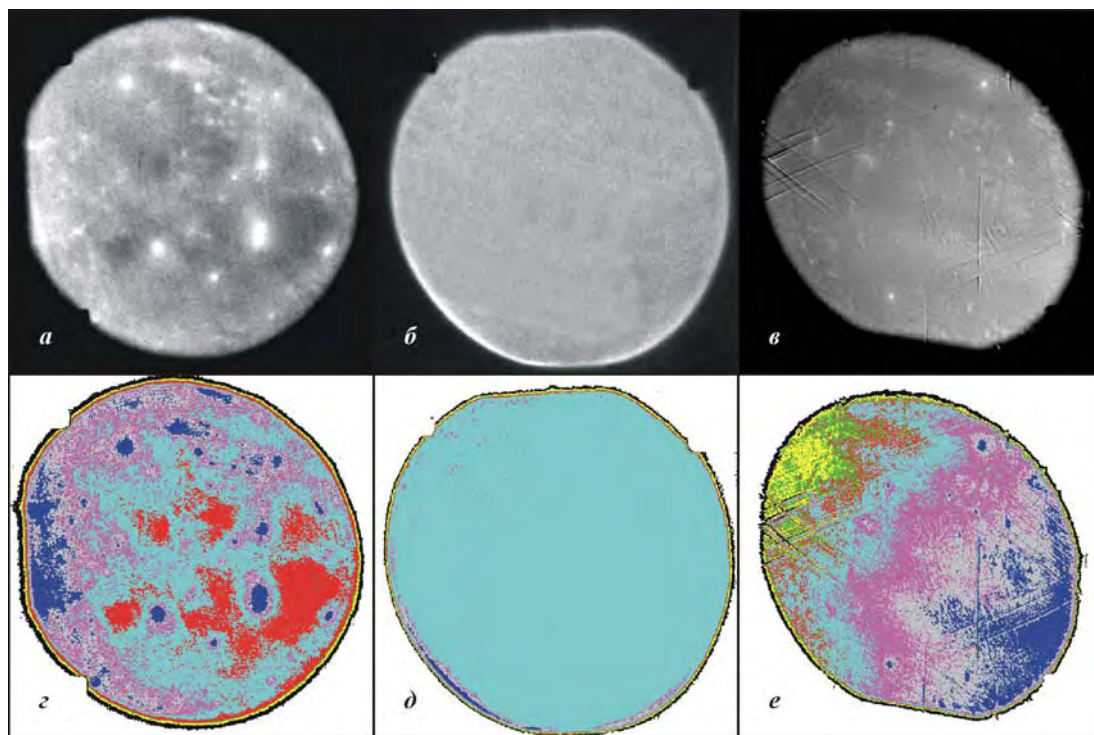
Топограмма представляет собой светотеневую картину с множеством тоновых переходов. Поэтому измерение яркости изображения стандартными методами, например, с помощью люксметра, в каждой конкретной точке представляет собой довольно сложную техническую задачу. Для определения параметров одного дефекта, например, ямки необходимо провести десятки измерений яркости с привязкой к системе координат. Задача значительно упрощается, если для ее решения привлечь метод компьютерной диагностики изображений [3–6]. Топограмму в этом случае можно рассматривать как двумерную матрицу, члены которой представляют собой интенсивности отдельных точек изображения. Разрешение по интенсивности определяется глубиной цвета. Поскольку топограмма представляет собой светотеневую картину без цветовых переходов, в компьютере она отображается в цветовой палитре серого цвета из 256 оттенков. Следовательно, интенсивность любой точки изображения представляет собой номер цветового оттенка от 0 до 255. Это позволяет различать отдельные точки дефектов, относительная разница интенсивности изображения которых составляет 0,4 %.

Разрешение по размерам в плане определяется оптическим разрешением изображения, обычно измеряемом в количестве точек (пикселей) на дюйм dpi. Использование широко применяемого разрешения 300 dpi позволяет проводить измерения яркости на площади менее

0,01 мм², что вполне достаточно для осуществления количественного контроля топографических дефектов, поскольку площадь реально различимых дефектов значительно выше.

В связи с тем что человеческий глаз не может однозначно различить все 256 оттенков серой палитры, сортировка пластин по степени пригодности к дальнейшему использованию оказывается субъективной и не достоверной. Выходом из данной ситуации является использование метода деления цвета. Его сущность заключается в следующем. Цветовая палитра серого цвета делится на произвольные интервалы, например, по несколько оттенков, каждому из которых присваивается другой цвет из полной цветовой палитры, причем соседним интервалам присваиваются контрастные цвета, например, красный и зеленый. В результате изображение контролируемой поверхности окрашивается в различные цвета. Каждому цвету при этом соответствует заданный интервал интенсивности изображения. Полученное в результате данного преобразования изображение можно сравнить с географической картой, на которой каждому заданному интервалу высот или глубин соответствует свой цвет. Чем в меньшее количество цветов оказывается окрашенная топограмма, тем выше однородность поверхности и выше ее качество. Так, топограмма бездефектной пластины оказывается окрашенной в один цвет, топограмма пластины с незначительными дефектами – в два цвета, топограмма пластины с заметными дефектами — в три цвета и т.д. Топограмма пластины, содержащей такие дефекты, которые не позволяют использовать ее в производстве даже простейших полупроводниковых приборов, оказывается раскрашенной во все цвета радуги. Данный метод позволяет быстро и без ошибок проводить сортировку полупроводниковых пластин по степени их пригодности, или по группам качества.

В качестве примера на рисунке *a–в* представлены оптические топограммы полупроводниковых пластин кремния диаметром 100 мм, а на рисунке *г–е* — соответствующие им цветовые изображения. Для цветового анализа в данном случае использован интервал интенсивностей от 90 до 170, который разделен на более мелкие интервалы по 10 оттенков. Участки со значением интенсивности изображения менее 90 окрашены в белый цвет, а участки со значением интенсивности выше 170 — в синий. Анализ полученных изображений показывает, что рабочим областям пластин (далее 3 мм от края), топограммы которых представлены на рисунке *a* и *в*, соответствует шесть градаций цвета, а пластине, которой соответствует топограмма *б*, — две градации, хотя на топограмме отсутствуют сколько-нибудь заметные дефекты.



Примеры компьютерной обработки топограмм полупроводниковых пластин кремния

Программа обработки изображений топограмм кремниевых пластин написана на языке Delphi для операционной системы Windows 9x/NT. Ввод изображений в компьютер осуществляется стандартными методами, например, с помощью сканера или цифровой камеры (программа обработки изображений предусматривает оба варианта). Время обработки одного изображения составляет несколько секунд, что позволяет быстро рассортировать контролируемые пластины по группам качества при сплошном контроле в условиях серийного производства.

Таким образом, использование данной методики позволяет проводить оперативный количественный контроль топографических дефектов полупроводниковых пластин.

Заключение

В результате проведенных исследований установлена зависимость между параметрами топографических дефектов поверхности полупроводниковых пластин и интенсивностью их изображения на экране установки оптической топографии. Предложены критерии и разработанная методика количественной оценки топографических несовершенств поверхности, позволяющая проводить быструю сортировку полупроводниковых пластин по группам качества. Показано, что использование метода цветового деления позволяет значительно упростить процесс контроля и повысить его информативность.

COLOUR DIAGNOSTICS OF TOPOGRAPHICAL DEFECTS

S.F. SENKO, A.S. SENKO

Abstract

The dependence between parameters of topographical surface imperfections of semiconducting slices and intensity of their image on topograms is established. The criteria are offered and the technique of a quantitative evaluation of topographical imperfections of a surface permitting to conduct quick sort of semiconducting slices on groups of quality is developed. It is shown that the use of the method of colour division allows to simplify considerably the process of control and to increase its informativity.

Литература

1. *Сенько С.Ф., Зеленин В.А.* // Изв. Белорус. инж. акад. 2000. № 1 (9)/2. С. 167–169.
2. *Сенько С.Ф.* // Изв. Белорус. инж. акад. 2002. № 2 (14)/2. С. 159–161.
3. *Сенько А.С., Сенько С.Ф., Зеленин В.А.* // Материалы докл. Междунар. НТК "Новые технологии изготовления многокристалльных модулей" (25–29 сентября 2000 г., Минск–Нарочь, Беларусь). Мн., 2000. С. 136.
4. *Сенько А.С., Сенько С.Ф., Зеленин В.А.* // XII Российский симпозиум по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам исследования твердых тел РЭМ 2001 (4–6 июня 2001 г.): Тез. докл. Черноголовка. 2001. С. 160.
5. *Зеленин В.А., Сенько А.С., Сенько С.Ф.* // Машиностроение: Сб. науч. тр. Вып. 17. Под ред. И.П. Филонова. Мн., 2001. С.434–437.
6. *Сенько А.С., Сенько С.Ф., Зеленин В.А.* // Материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. "Высокие технологии в промышленности России" (Москва, МГУ, 2001, 29–30 июня). М., 2001. С. 269–271.