

УДК 004.942; 548.4

Л. И. ДЬЯЧЕНКО, Е. В. МИНОВ, С. Э. ОСТАПОВ, П. М. ФОЧУК, Ю. Б. ХАЛАВКА

Черновицкий национальный университет им. Юрия Федьковича, Украина

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОДСИСТЕМЫ ДЕФЕКТОВ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КРИСТАЛЛОВ

Предложена новая информационная технология для обработки и анализа подсистемы дефектов выращивания полупроводниковых кристаллов. На основании набора микрофотографий информационная система строит трехмерное изображение полупроводникового кристалла и выводит статистическую информацию о количестве и размерах найденных в кристалле дефектов. Кроме того, разработан модуль, позволяющий генерировать эталонный набор инфракрасных фотографий для оценки качества распознавания реальных полупроводниковых кристаллов. Анализируя результаты работы информационной системы, исследователи принимают решение о качестве кристаллов и возможной области их применения.

Ключевые слова: *информационная технология, полупроводниковые кристаллы, распознавание фотографий, трехмерное изображение, вейвлет-преобразования, «виртуальный» кристалл.*

Введение

Актуальность использования информационных технологий (ИТ) в современном мире состоит в том, что они справляются с существенным увеличением объемов перерабатываемой информации и ведут к сокращению сроков ее обработки. ИТ широко используются в разных областях науки и производства. Это и исследования качества строительных конструкций и поверхности, и внутренней структуры металлических изделий, печатных плат электронной техники (РСВ), качества изготовления тканей и т.д. [1-3]. Особое место здесь занимает полупроводниковая промышленность. Изготовление полупроводниковых кристаллов сегодня становится все сложнее, например, технологический процесс насчитывает более 300 операций. Поэтому, для этой отрасли проблема исследования дефектов выращивания кристаллов чрезвычайно важна [4].

Одним из методов, на основе которого работают такие системы, состоит в анализе серий фотографий, сделанных в ИК лучах через микроскоп, которые послойно показывают внутреннюю структуру подсистемы дефектов выращивания. Статистика выявленных дефектов может многое сказать инженеру о параметрах примененных технологических процессов.

На практике инженеры часто тратят много времени для выяснения реакции подсистемы дефектов на изменения параметров технологического процесса. Кроме того, сам процесс классификации дефектов выращивания вручную чрезвычайно кропотливый, долгий и дорогой, он приводит к быстро-

му утомлению глаз и, соответственно, к увеличению ошибок классификации.

Цель данной работы – разработка новой информационной технологии, позволяющей значительно ускорить процесс распознавания микроскопических структур дефектов выращивания полупроводниковых кристаллов, а также других микроскопических объектов; уменьшение количества ошибок распознавания, что чрезвычайно важно для инженеров и ученых. Технология решает и другой острый вопрос о количественных критериях оценки качества распознавания объектов и сравнения систем различных разработчиков.

1. Постановка задачи исследования

Мы предлагаем способ решения этой проблемы с использованием так называемого «виртуального кристалла», сгенерированного компьютерной программой. В этом случае можно заранее задать нужное количество дефектов разного размера и разместить их в «кристалле» в соответствии с определенным законом распределения. Программное обеспечение генерирует комплект послойных фотографий такого «кристалла» и файл со статистическими данными такой подсистемы дефектов. Комплект фотографий подается на вход программы распознавания дефектов, а полученные после их анализа статистические результаты сравниваются с входными данными. Таким образом, мы можем получить количественные критерии оценки работы программ распознавания дефектов и сравнить программы различных производителей между собой.

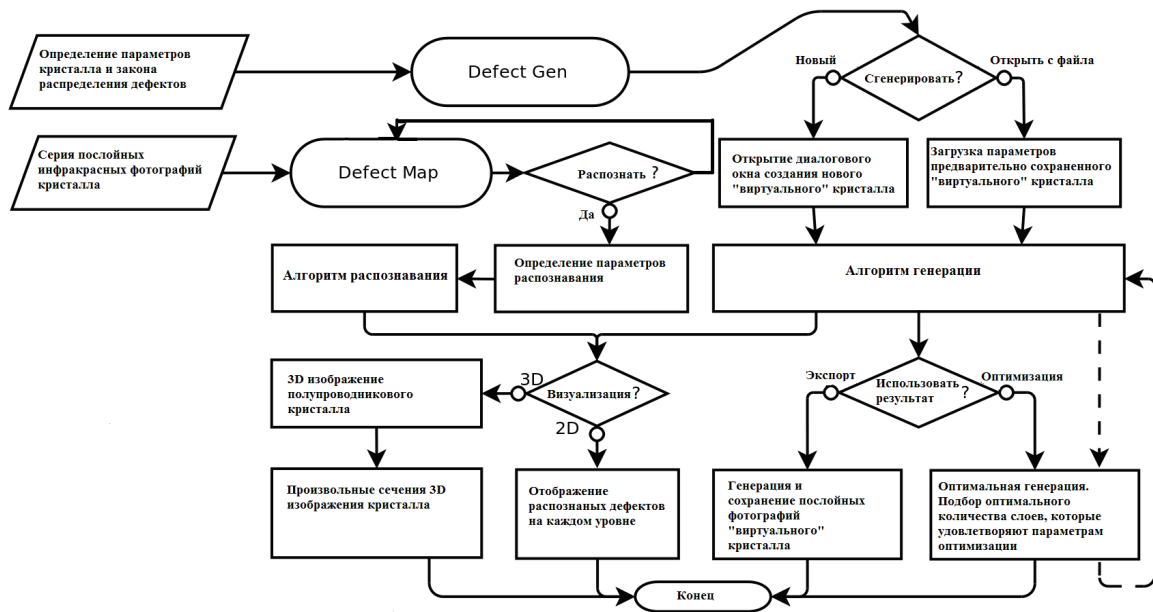


Рис. 1. Информационная технология обработки и анализа экспериментальных данных полупроводникового производства

Таким образом, основные цели этой статьи заключаются в разработке структуры информационной технологии для обработки результатов исследования полупроводниковых кристаллов, которая будет включать в себя комплекс программных модулей распознавания микрообъектов и количественного метода сравнительного анализа качества распознавания аналогичных программ разных производителей между собой.

2. Описание созданной информационной технологии

Для решения поставленных задач нами была разработана новая информационная технология, которая позволяет оптимизировать процесс анализа экспериментальных данных послойного сканирования выращенных полупроводниковых кристаллов. На рис. 1. приведена структурная схема разработанной информационной технологии.

Первичной информацией является набор послойных инфракрасных фотографий полупроводникового кристалла. Такие фотографии исследователи получают путем сканирования выращенных кристаллов с помощью источника инфракрасного излучения и микроскопа. Оборудование для получения фотографий состоит из трех модулей, каждый из которых имеет встроенный микроконтроллер, все они подключаются к RS-232 и блоку питания 12В. Модули закреплены на специальной сборке, что позволяет двигать предметный столик в трех плоскостях. Для получения изображений используется камера PixeLink, работающая в инфракрасном диа-

пазоне. Система сканирования работает в двух режимах: автоматическом и ручном. В автоматическом режиме шаговые двигатели системы управляются компьютерной программой, в ручном - с помощью джойстика.

Полученные с помощью установки снимки передаются через порт FireWire в пакет программ для анализа подсистемы дефектов выращенных кристаллов и восстановления трехмерной структуры их распределения Defect Map, который и проводит обработку первичной информации [5].

После этого пользователь переходит к форме с выбором параметров распознавания. К этим параметрам относятся: физические размеры кристалла, минимальный и максимальный размер дефектов (для проведения разделения распознанных дефектов на три группы: крупные - больше максимального размера, средние - в пределах от минимума до максимума, мелкие - меньше заданного минимального размера), радиус распознавания, делитель размера изображения (для ускорения распознавания входных изображений большого размера), цвет дефектов и цвет фона на результирующих распознанных изображениях. Эти параметры можно изменить по желанию пользователя или оставить значения по умолчанию.

На первом этапе распознавания фотографий используется прямое и обратное дискретное вейвлет-преобразование.

Каждый элемент прямого дискретного вейвлет-преобразования/вейвлет-синтеза можно описать следующим образом [4]:

$$DWT(M^{in}, N_x, N_y, d) = \begin{cases} DWT_{XY}(M^{in}, N_x, N_y), & d < 1, \\ DWT(DWT_{XY}(M^{in}, N_x, N_y), \frac{N_x}{2}, \frac{N_y}{2}, d-1), & d \geq 1, \end{cases} \quad (1)$$

обратного:

$$DWT^{-1}(M^{in}, N_x, N_y, d) = \begin{cases} DWT_{XY}^{-1}(M^{in}, N_x, N_y), & d < 1, \\ DWT^{-1}(DWT_{XY}^{-1}(M^{in}, N_x, N_y), \frac{N_x}{2}, \frac{N_y}{2}, d-1), & d \geq 1, \end{cases} \quad (2)$$

где M^{in} - входная матрица изображения,

N_x, N_y - ширина и высота изображения,

DWT и DWT^{-1} - прямое и обратное дискретное вейвлет-преобразование соответственно.

Второй этап вычислений - распознавание дефектов. Результатом распознавания будет битовое поле, каждый элемент которого находится по формуле:

$$B_{x,y}^F = \begin{cases} 1, & R_{x,y}^M \geq R_{TR}, \\ 0, & R_{x,y}^M < R_{TR}, \end{cases} \quad (3)$$

$$R_{x,y}^M = W_{x,y}^L - R_{x,y}^{Blur}, \quad (4)$$

$$R_{x,y}^{Blur} = \frac{1}{(2R_{Rad})^2} \times \sum_{u=0}^{2R_{Rad}} \sum_{v=0}^{2R_{Rad}} W_{(x+u)-R_{Rad}, (y+v)-R_{Rad}}^L, \quad (5)$$

где R_{TR} - порог распознавания;

$B_{x,y}^F$ - битовое поле, матрица (внутреннее представление распознанного изображения);

$R_{x,y}^{Blur}$ - матрица размытого изображения;

R_{Rad} - радиус распознавания.

На третьем этапе выполняется фильтрация битового поля. Целью является отсеивание больших площадей с мелкими дефектами. Алгоритм работает на основе анализа соседних точек.

Четвертый этап - сортировка дефектов по площади в отфильтрованном битовом поле. Алгоритм сортировки в процессе работы генерирует группы дефектов и заполняет матрицу индексов, каждый элемент которой соответствует позиции дефекта в битовом поле и указывает на группу, к которой этот дефект относится.

После получения распознанного битового поля изображения выполняется сегментация. Результатом сегментации является локализация объектов, которые в дальнейшем используются для создания трехмерной модели дефектной подсистемы полупроводниковых кристаллов.

В результате распознавания пользователь может просмотреть распознанные изображения отдельно или в виде 3D модели кристалла.

Выбрав просмотр отдельных распознанных фо-

то, пользователь может задействовать инструменты для редактирования результатов распознавания или вернуться назад. В случае выбора просмотра построенной 3D модели кристалла, можно отфильтровать распознанные дефекты по размеру (отображать только определенную группу дефектов) или форме (точечные, линейные, плоскостные). Также имеется возможность построить сечение кристалла секущей, которая может произвольным образом вращаться и сохранить его в виде jpg-файла на диске, а также вычесть слой, обозначенный как поверхность, от всех остальных распознанных слоев и обновить 3D изображения кристалла. Последняя функция была добавлена в программу с целью устранения дефектов поверхности кристалла либо той, на которой размещается кристалл в момент съемки [6].

Кроме просмотра результатов распознавания, в программе существует возможность распечатать результаты работы. На печать можно вывести 3D модель кристалла в виде рисунка, отдельную ИК- фотографию или ее распознанное представление.

Также можно сохранить на диск файл статистики, построить нужные диаграммы и гистограммы. Файл статистики содержит точные координаты всех обнаруженных дефектов, их размер, общий объем дефектов каждой группы в кристалле, а также количество распознанных крупных, средних и мелких дефектов по всему кристаллу.

3D изображение кристалла, распознанные фотографии, файл статистики и диаграммы, которые помогают визуализировать результаты, обеспечивают информацию нового качества, полученную в результате обработки первичной информации.

Как уже отмечалось выше, статистический характер подсистемы дефектов в твердых телах приводит к тому, что мы принципиально не можем вырастить полупроводниковый кристалл с заданными параметрами: определенным количеством дефектов, их размещением и статистическим распределением. Это, в свою очередь, означает, что мы в принципе не можем знать, что мы подаем на вход системы распознавания, а значит, оценить качество ее работы. Соответствует ли истине то, что мы получаем на выходе распознавания, и, если соответствует, то насколько

ко? Можно ли настройками системы распознавания улучшить ее работу? Какова степень влияния тех или иных настроек программы на правильность ее работы?

Сканирование по слоям также вызывает некоторые вопросы, в частности, как определить оптимальное количество слоев сканирования, если мы не знаем точно, сколько дефектов в кристалле, где они находятся и какие имеют размеры? С одной стороны, очевидным будет максимальное количество слоев, что потребует больших затрат времени и ресурсов, с другой – при любом количестве слоев мы не можем определить, какая часть дефектов останется «за кадром».

Одним из вариантов решения этих проблем, является на наш взгляд, использование «виртуального кристалла», сгенерированного компьютерной программой. Здесь, мы можем задать нужное количество дефектов разного размера и разместить их в «кристалле» по заданному закону распределения. Программное обеспечение генерирует комплект послойных фотографий такого «кристалла» и файл со статистическими данными такой подсистемы дефектов. Комплект фотографий подается на вход программы распознавания дефектов, а полученные после их анализа статистические результаты сравниваются с исходными. Таким образом, мы можем получить количественные критерии оценки работы программ распознавания дефектов и сравнить программы различных производителей между собой [7]. Кроме этого, существует возможность провести на таком «виртуальном кристалле» компьютерные эксперименты, чтобы найти оптимальный способ сканирования кристалла, с целью максимизировать количество дефектов, которые фиксируются на фотографиях. Такой способ позволит оптимальным образом сканировать реальные кристаллы в тех режимах, которые обеспечивают максимальное качество исследований.

Учитывая вышесказанное, мы разработали программное обеспечение, которое позволяет нам создавать компьютерную 3D модель полупроводникового кристалла и генерировать наборы послойных фотографий, аналогичные тем, которые получают в процессе сканирования реальных кристаллов. Разработанная программа называется DefectGen.

При генерировании эталонного набора дефектов выращивания используются сферы, радиусы и координаты центров которых задаются случайным образом в трехмерном пространстве кристалла.

Генерация исследуемого кристалла с заданными начальными параметрами состоит из 4 этапов:

1. Генерация заданного количества мелких, средних и крупных дефектов, и расположение их в объеме кристалла в соответствии с выбранным ста-

стистическим законом распределения.

2. Генерирование битового поля дефектов для каждого слоя, группировки и сортировки дефектов по площади в битовом поле.

3. Группировка дефектов по соседним слоям.

4. Нанесение дефектов с битового поля на изображение слоев и их постобработка.

Распределение дефектов может выбираться из следующего набора: распределение Пуассона, Гаусса (нормальный), равномерный (алгоритм Бокса - Муллера) или случайный.

При генерации нового «виртуального» кристалла, сначала открывается диалоговое окно, которое позволяет задать физические размеры кристалла перед началом процесса генерации, предельные размеры дефектов, их закон распределения, количество слоев, на которые необходимо «порезать» кристалл и другие важные параметры. Также можно выбрать цвет, которым будут изображаться дефекты на распознанных фотографиях и цвет фона. Пользователь может добавить шум различной интенсивности и яркости на результирующих фотографиях, которые будут сгенерированы программой.

Созданный «виртуальный кристалл» подается пользователю тремя способами: в трехмерном изображении с возможностью произвольного вращения и изменения размеров, набора тестовых фотографий, аналогичных фотографиям реальных кристаллов, просканированных в ИК лучах и файла описания кристалла, где хранятся координаты и размеры всех созданных дефектов.

Кроме размещения дефектов по объему кристалла, разработанное программное обеспечение позволяет проводить оптимизацию процесса сканирования полупроводникового кристалла в ИК лучах. Под оптимизацией, мы имеем в виду расчет того, на сколько слоев минимально мы должны «порезать» полупроводниковый кристалл, для того чтобы на ИК фотографии попало заданное количество всех дефектов кристалла [8]. Процесс оптимизации количества генерируемых слоев построен на итеративном методе постепенного приближения к оптимальным значениям с использованием производных, рассчитанных по текущей и предыдущей итерациям. Кроме этого, учитывается значение глубины резкости микроскопа, который используется для получения ИК фотографий. Приоритет отдается значению глубины резкости между слоями, т.е. количество слоев увеличивается только в случае достижения максимального значения глубины резкости, которое постепенно подбирается в диапазоне от 0 до величины шага между слоями. В случае увеличения количества слоев глубина резкости зануляется, и процесс оптимизации повторяется до тех пор, пока количество слоев не достигнет максимально допустимого.

мого значення, введенного в окне диалога пользователем перед началом оптимизации.

Результатом оптимизации является количество дефектов, которые удалось разместить на слоях (в процентном соотношении), а также количество слоев и глубина резкости микроскопа, при которых удалось достичь данного результата.

После окончания генерации «виртуального» кристалла, пользователь имеет возможность повторно осуществить постобработку изображений слоев, сохранить результат работы, а также осуществить экспорт изображений сгенерированных слоев для дальнейшей работы с ними [9].

3. Применение информационной технологии

Основное применение разработанной информационной технологии состоит в анализе подсистемы дефектов выращивания полупроводниковых кристаллов с помощью распознавания их изображений на серии фотографий, снятых в ИК излучении послойно по толщине кристалла. Фотографии можно либо получать в реальном времени со сканирующего оборудования, либо использовать заранее полученный набор. В последнем случае необходимо выбрать папку с сохраненными фотографиями кристалла и задать начальные параметры распознавания (физические размеры кристалла, границы размеров дефектов, радиус распознавания и т.д.).

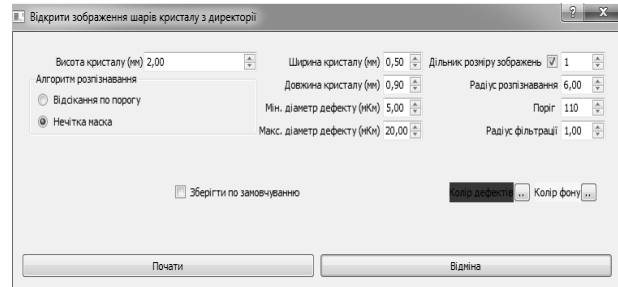


Рис. 2. Диалоговое окно задания начальных параметров распознавания

Окно задания параметров распознавания приведено на рис. 2. Также можно выбрать цвет, которым будут изображаться дефекты на распознанных фотографиях и цвет фона. По умолчанию заданы параметры, которые изображены на рис. 2. При необходимости указанные значения можно изменить и сохранить их как значение по умолчанию. Нажав кнопку «Начать», пользователь переходит непосредственно к процессу распознавания фотографий. Кнопка «Отмена» позволяет вернуться к выбору директории с набором входных фотографий.

На рис. 3. показан результат распознавания послойных ИК фотографий полупроводникового кристалла. Слева отображается входная фотография, справа - результат ее распознавания. Если результат распознавания не удовлетворяет исследователей то изображение можно откорректировать, используя встроенные в ПО методы редактирования снимков.



Рис. 3. Форма для вывода результатов распознавания ИК фотографий кристалла

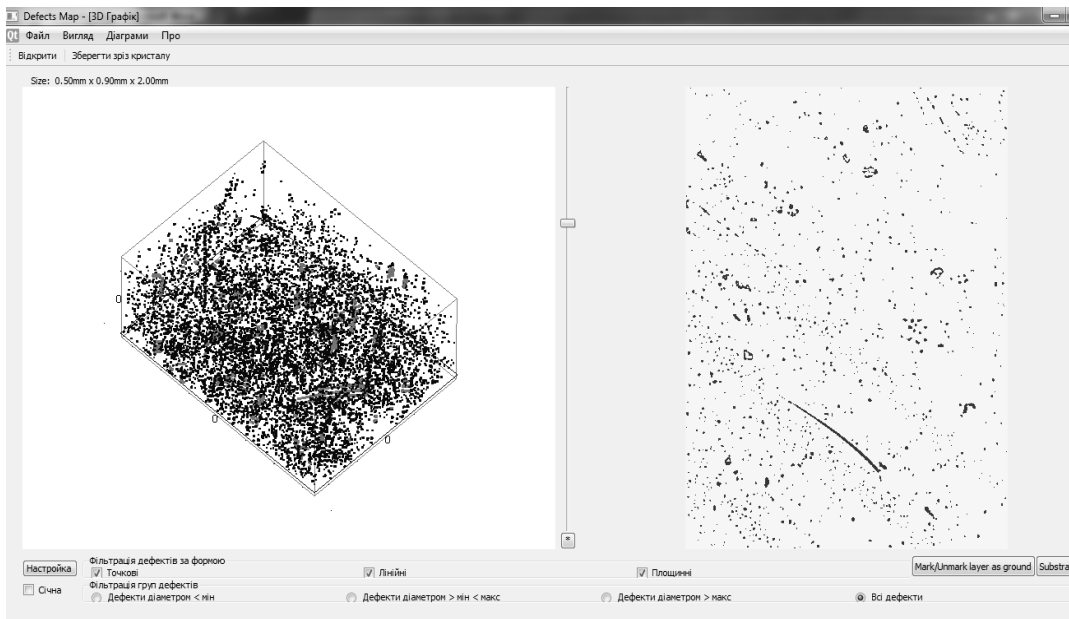


Рис. 4. Форма 3D модели кристалла

Кроме этого, слева, перед входной ИК фотографией, отображается вычисленное программой значение процентного количества всех дефектов кристалла на текущем слое. На слое, который приведен на рис. 3, это 4,19% от общего числа дефектов исследуемого кристалла.

Используя навигационные клавиши на клавиатуре, пользователь может листать распознанные фото из входного набора. Счетчик изображений отображается в верхнем левом углу окна. На рис. 3 это вторая распознанная фотография из девятнадцати, которые были во входном наборе. На рис. 4 приведена построенная 3D модель кристалла. Построенное трехмерное изображение предоставляет возможность просмотра каждого конкретного слоя, его

можно поворачивать произвольным образом, пользуясь мышкой.

Разработанный программный комплекс также дает возможность провести статистическую обработку полученных результатов распознавания и построить гистограммы распределения точечных дефектов по диаметру на каждом рассматриваемом слое [5]. Пример такой гистограммы приведен на рис. 5. На ней пользователь имеет возможность просмотреть количество дефектов каждой из трех групп на каждом из двадцати рассматриваемых слоев. Легенда показывает цвет группы дефектов на гистограмме. Кроме этого, исследователи могут увидеть общий закон распределения дефектов в кристалле в целом.

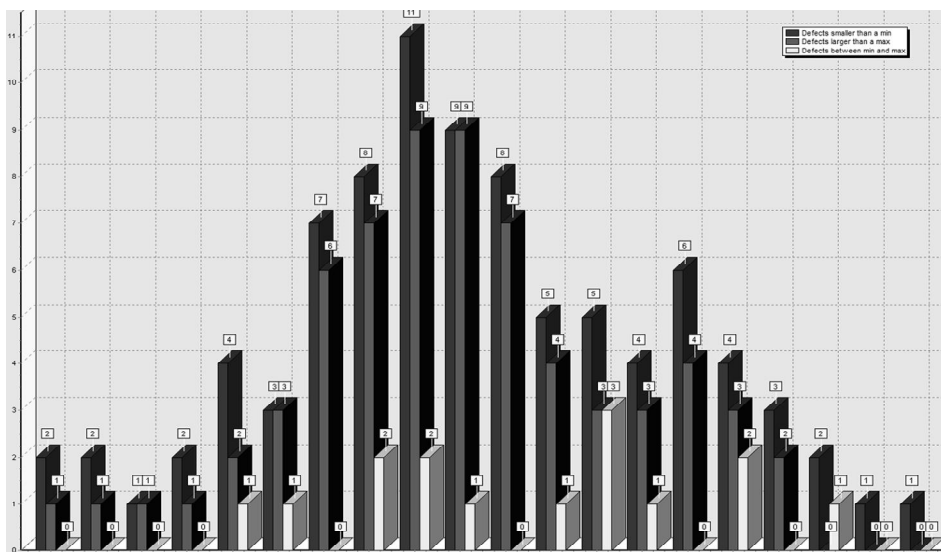


Рис. 5. Гистограмма распределения точечных дефектов по диаметру на каждом рассматриваемом слое

Для статистической обработки результатов распознавания важное значение имеет также файл статистики, который позволяет построить предлагаемое ПО. Это файл формата *.xls, в котором содержатся координаты и размеры всех найденных на фотографиях дефектов. Раньше обработка ИК фотографий кристаллов выполнялась либо вручную, либо с использованием стандартных программ. Одним из универсальных пакетов программ для обработки изображений (в том числе фотографий полупроводниковых кристаллов) является программа анализа медицинских и биологических изображений ImageJ (Image Processing and Data Analysis in Java), а особенно плагин для нее TomoJ (tomography software for three-dimensional reconstruction in transmission electron microscopy). Однако данный программный комплекс ориентирован на работу с медицинскими изображениями и для исследования, с его помощью, фотографий полупроводниковых кристаллов многие операции нужно выполнять вручную.

Наша информационная технология позволяет выполнять обработку фотографий намного проще и удобнее, а также предоставляет широкий спектр дополнительных возможностей.

Заключение

Суммируя все вышеизложенное, можно утверждать, что разработанная нами информационная технология предоставляет широкий спектр возможностей для исследования качества выращенных полупроводниковых кристаллов, а также для обработки результатов технологических экспериментов с реальными кристаллами. Очевидно, что она может использоваться и для анализа подсистем дефектов любых твердых тел, внутреннюю структуру которых можно представить послойными микрофотографиями. Возможность получения трехмерного изображения и статистический анализ распределения дефектов значительно упрощают процесс визуализации и оценки подсистемы дефектов. Наличие средств фильтрации и редактирования позволяет достичь высокой точности распознавания.

Разработана система оптимальной генерации, которая позволяет давать рекомендации исследователям о том, с каким вертикальным шагом нужно сканировать выращенные кристаллы для того, чтобы на фотографии попало заданное количество дефектов.

Впервые предложен и реализован метод количественной проверки точности работы программ распознавания с помощью программы генерирования «виртуального кристалла» с заранее заданными параметрами. Возможность изменения параметров генерации позволяет создавать «виртуальные» кри-

сталлы с разнообразным распределением дефектов по объему кристалла и разным количеством дефектов. Дополнительное «зашумление» фотографий дает возможность моделировать условия, которые получаются при сканировании реальных полупроводниковых кристаллов в ИК лучах.

Эта работа выполнена в рамках проекта «Разработка программно-аппаратной системы для исследования параметров нано- и микрообъектов в коллоидных растворах и твердых телах» (регистрационный номер 0115U003240) при финансовой поддержке МОН Украины.

Литература

1. Jonker, P. P. *Pattern recognition for metal defect detection [Text]* / P. P. Jonker, R. P.W. Duin, D. de Ridder // *Steel Grips*. – 2003. – No 1 (1). – P. 20 – 23.
2. Sabeenian, R. S. *Fabric Defect Detection in Handlooms Cottage Silk Industries using Image Processing Techniques [Text]* / R. S. Sabeenian, M. E. Paramasivam, P. M. Dinesh // *International Journal of Computer Applications*. – 2012. – Vol. 58, No. 11. – P. 21-29.
3. *A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure [Text]* / C. Koch, K. Georgieva, V. Kasireddy, B. Akinci, P. Fieguth // *Advanced Engineering Informatics*. – 2015. – No 29. – P. 196 – 210.
4. *Wavelet Transform Based Wafer Defect Map Pattern Recognition System in Semiconductor Manufacturing [Text]* / S. F. Liu, F. L. Chen, Y. Y. Shi, S. M. Yu and C. S. Chang // *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists IMECS 2008, 19-21 March, 2008. – Hong Kong, 2008. – Vol II. – P. 1342-1346. – ISBN: 978-988-17012-1-3.*
5. *Програмний комплекс візуалізації та аналізу точкових дефектів у напівпровідникових кристалах [Текст]* / Л. І. Д'яченко, Є. В. Мінов, П. М. Фочук, С. Е. Остапов // *Науковий вісник ЧНУ. Комп'ютерні системи та компоненти*. – 2010. – Т. 1, вип. 1. – С. 80-84.
6. *Програмний комплекс моделювання точкових дефектів у напівпровідникових кристалах [Текст]* / Л. І. Д'яченко, Є. В. Мінов, П. М. Фочук, С. Е. Остапов // *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Серія: Фізико-математичні науки*. – 2011. – Вип. 1. – С. 123-126.
7. *Д'яченко, Л. І. Метод оцінки та порівняння якості програм розпізнавання дефектів вирощування кристалів [Текст]* / Л. І. Д'яченко, Є. В. Мінов, С. Е. Остапов // *Науковий вісник Чернівецького університету. Комп'ютерні системи та компоненти*. – 2014. – Т. 5, вип. 1. – С. 105-110.
8. *Д'яченко, Л. І. Оптимізація сканування напівпровідникових кристалів [Текст]* / Л. І. Д'яченко, С. Е. Остапов // *Тези доповідей III міжнародної науково-практичної конференції*

«Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» (ПКТ-2014). м. Чернівці, 27-30 травня 2014. – С. 108.

9. Остапов, С. Э. Разработка и исследование системы оценки качества программ распознавания

дефектов [Текст] / С. Э. Остапов, Л. И. Дьяченко // Информационные системы в управлении, образовании, промышленности : монография / под ред. проф. В. С. Пономаренко. – Х. : Цифрова друкарня №1, 2014. – С. 249-264.

Поступила в редакцию 5.11.2015, рассмотрена на редколлегии 18.11.2015

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПІДСИСТЕМИ ДЕФЕКТІВ ВИРОЩУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ КРИСТАЛІВ

Л. І. Д'яченко, Є. В. Мінов, С. Е. Остапов, П. М. Фочук, Ю. Б. Халавка

Запропоновано нову інформаційну технологію для обробки та аналізу підсистеми дефектів вирощування напівпровідникових кристалів. На підставі набору мікрофотографій інформаційна система будує тривимірне зображення напівпровідникового кристала і виводить статистичну інформацію про кількість і розміри знайдених в кристалі дефектів. Крім того, розроблено модуль, що дозволяє генерувати еталонний набір інфрачервоних фотографій для оцінки якості розпізнавання реальних напівпровідникових кристалів. Аналізуючи результати роботи інформаційної системи, дослідники приймають рішення про якість кристалів і можливі області їх застосування.

Ключові слова: інформаційна технологія, напівпровідникові кристали, розпізнавання фотографій, тривимірне зображення, вейвлет перетворення, «віртуальний» кристал.

INFORMATION TECHNOLOGY FOR THE ANALYSIS OF SEMICONDUCTOR CRYSTALS GROWING DEFECT SUBSYSTEM

L. I. Diachenko, E. V. Minov, S. E. Ostapov, P. M. Fochuk, Yu. B. Khalavka

It is proposed a new information technology for the processing and analysis the subsystem of semiconductor crystals growing defects. Based on a set of microphotos information system builds a three-dimensional image of the semiconductor crystal, and outputs the statistical information about the number and size of defects found in the crystal. In addition, it is developed application that allows you to generate a reference set of infrared images to assess the quality of applications for real semiconductor crystals recognition. Analyzing the results of the information technology, the researchers make a decision of the crystals quality and the possible fields of its application.

Keywords: information technology, semiconductor crystal, photographs recognition, three-dimensional image, wavelet transformation, "virtual" crystal.

Дьяченко Лилия Ивановна – аспирант каф. программного обеспечения компьютерных систем, Национальный университет им. Ю. Федьковича, Черновцы, Украина. e-mail: lilya.d82@gmail.com.

Минов Евгений Валериевич – аспирант каф. программного обеспечения компьютерных систем, Национальный университет им. Ю. Федьковича, Черновцы, Украина. e-mail: minov.eug@gmail.com.

Остапов Сергей Эдуардович – д-р физ.-мат. наук, проф., зав. каф. программного обеспечения компьютерных систем, Национальный университет им. Ю. Федьковича, Черновцы, Украина. e-mail: sergey.ostapov@gmail.com.

Фочук Петр Михайлович – д-р хим. наук, проф., проректор по научной работе и международным связям, Национальный университет им. Ю. Федьковича, Черновцы, Украина. e-mail: fochukp@gmail.com.

Халавка Юрий Богданович – канд. хим. наук, ассист. каф. неорганической химии, Национальный университет им. Ю. Федьковича, Черновцы, Украина. e-mail: y.khalavka@chnu.edu.ua.