

УДК 004.932.2; 004.932.2

Самойлов А.Н.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

Шевченко И.В.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА АДАПТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЯРКОСТНЫХ ПОРОГОВ ФРАГМЕНТОВ ЦИФРОВОГО РАСТРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПЛАСТИНЫ ПОЛУПРОВОДНИКА

В статье исследуются методы получения бинаризованных цифровых изображений. Метод, подлежащий анализу, оценивается с точки зрения использования для бинаризации изображения пластины полупроводника. Дислокацию можно описать как схему с геометрическими примитивами – линиями в сочетании со структурным описанием формы дислокации для пиксельного анализа. Анализируются параметры, используемые для настройки метода обработки цифровых изображений пластин полупроводников GaAs.

Ключевые слова: глобальная бинаризация, адаптивная бинаризация, растровое изображение, фрагмент, дислокация, пластина GaAs, ямки травления.

Постановка проблемы. Монокристаллы полупроводников, а в частности монокристаллы GaAs, изготовленные методом Чохральского, имеют отклонения по качеству, которые согласно нормативным документам по производству монокристаллов характеризуются наличием микродефектов, неровностей, дислокаций и других структурных нарушений кристаллической решётки. Качество изготовления монокристалла определяется стандартизированной величиной плотности дислокаций: отношения их числа к площади проверяемой фотоэлектрической пластины из расчёта на квадратный сантиметр пластины, полученной из данного монокристалла. Наличие дислокаций является нормированным и может достигать $10^3 \div 10^5 \text{ см}^{-2}$, при контроле качества монокристалла GaAs.

Количественный контроль дислокаций пластин монокристаллов GaAs, выполняемый оператором, неэффективен. Однако удобство и дешевизна визуально-оптического метода инициирует исследования в области автоматизации процесса подсчёта ямок травления дислокаций на цифровом растровом изображении, полученном на интерферометре МИИ-4.

Ямки травления дислокации на изображении могут быть представлены как последовательность отрезков, сходящихся в общий центр [1], что инвариантно относительно аффинных преобразований. Эффективность такого подхода позволяет использовать яркостные переходы на фрагментах изображения как признаки контуров дислокаций.

Анализ последних исследований и публикаций. Глобальные методы бинаризации [2] позволяют получить обобщённую картину всех имеющихся дефектов и артефактов освещения поверхности пластины с помощью визуально-оптического метода, реализуемого оператором, определяющего степень бинаризации дислокаций. Методы локального порога яркости позволяют детализировать растровое бинарное изображение.

Работа [3] посвящена определению локального порога яркости, однако реализация имеет трудности для вычислительных систем с ограниченными ресурсами.

В работе [4] описано применение альтернативного подхода адаптивной бинаризации к поиску местного порога по статистически исследованным интенсивностям значений локальной окрестности каждого пикселя. Быстрые для реализации функции включают определение среднего значения локального распределения интенсивности, медианного значения или среднего значения от минимального и максимального значений.

Постановка задачи. Необходимо проанализировать метод адаптивной пороговой обработки [4] яркостных перепадов элементов цифрового изображения с точки зрения целесообразности его применения в дальнейших исследованиях фрагментов цифрового растрового изображения пластины полупроводника для подсчёта дислокаций.

Изложение основного материала исследования. Рассмотрим свойства адаптивного извлечения порога в областях интереса растрового изображения

для получения некоторой количественной оценки различий в результатах обработки цифрового растрового изображения теми или иными используемыми методами. Применение вышеупомянутого метода является промежуточным этапом, влияющим на последующие этапы обработки.

В работе [4] предложена методика статистического анализа ограниченной области размером N с определённым размером связности вокруг анализируемого пикселя растрового изображения N и степенью обработки C . В то время как глобальные операторы порога используют единый порог для всех пикселей, адаптивный порог изменяется динамически, что учитывает изменения условий освещённости изображения фрагментов, например, возникающих в результате сильного градиента освещения или теней.

Значительная вариативность параметров связности и степени бинаризации позволяет экспериментально подобрать альтернативное глобальной бинаризации определение локального порога яркости при помощи адаптивной бинаризации.

Размер окрестности для получения данных об яркости, с одной стороны, должен быть большим для охвата статистически достаточного количества пикселей на переднем и заднем плане, иначе выбранный порог будет неоптимальным. С другой стороны, выбор слишком больших областей может нарушить предположение приблизительно равномерного освещения.

Здесь и далее примем за интенсивность пикселей фона значение 255, а их количество будет подсчитано в процентах от общего количества точек плоскости S полутонового изображения [2].

Экспериментально рассматриваемое полутоновое восьмибитное изображение пластины полупроводника GaAs ориентации [100] после предварительной подготовки имеет явно выраженные ямки травления дислокаций. Размер интересующих фрагментов дислокаций, полученных визуально-оптическим методом, составляет 5 мкм.

Ямки травления дислокаций расположены как составляющие элементарных треугольных граней с общими вершинами (рис. 1). Неравномерное отражение света не даёт полного отображения в плоскости цифрового растрового изображения. Учитываем тот факт, что грань дислокации – это порог яркости, отображающий соседние плоскости дислокации или граница перехода со скачком яркости на крае поверхности [1]. Используя подходы к выделению границ и восстановления контуров на основе скачкообразного перехода яркости, можно определить грань ямки травления.

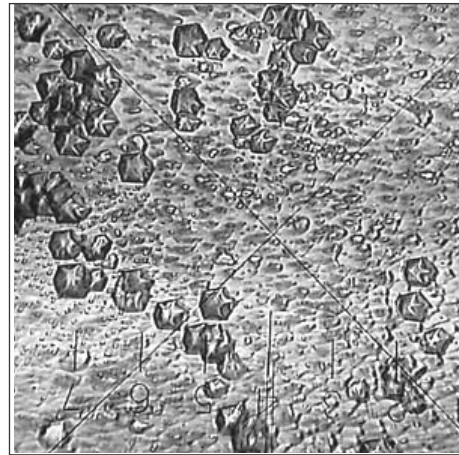


Рис. 1. Полутоновое восьмибитное изображение пластины полупроводника GaAs ориентации [100] с явно различимыми ямками травления дислокаций

Предварительно обработанное полутоновое восьмибитное изображение пластины полупроводника GaAs ориентации [100] (рис. 1) подвергается адаптивной бинаризации с исходными параметрами связности по соседним точкам изображения $N=7$, с вариацией величины коэффициента адаптивной бинаризации $C=[4...40]$. Величина связности с соседними пикселями анализируемого пикселя растрового изображения N позволяет получить полную картину учёта яркости.

Для полутонового восьмибитного растрового изображения пластины полупроводника результатом обнаружения яркостного порога при параметре связности $N=7$ является различие в количестве подчёркнутых фрагментов на изображении для коэффициентов адаптивной обработки яркостных порогов $C=[4...40]$, что выражается численным показателем площади $S_{\text{бин}}\%$.

Результаты обработки содержит таблица 1. Полученные значения бинаризованной площади $S_{\text{бин}}\%$ в случае изменения величины коэффициента адаптивной бинаризации $C=[4...40]$ после обработки изображения позволяют сделать вывод о зависимости величины значения бинаризованной площади $S_{\text{бин}}\%$ от увеличения C . Коэффициент адаптивной бинаризации C вносит в обработку возрастающую степень подавления пикселей по мере увеличения своего значения.

Анализируя полученные результаты визуально-оптическим методом, с точки зрения оператора, можно заметить, что такое изображение содержит множество несущественных фрагментов с одной стороны, и их количество, выраженное через $S_{\text{бин}}\%$, заметно сокращается. Сократить число несущественных фрагментов позволяет медианный фильтр с минимальным параметром усреднения 2 пикселя [5] (рис. 3).

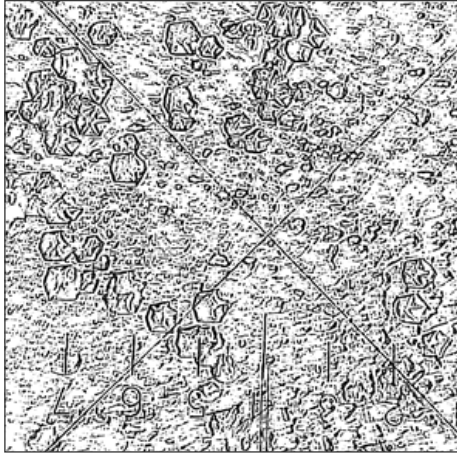


Рис. 2. Обработанное полутоновое восьмибитное изображение пластины полупроводника GaAs ориентации [100] с параметром связности $N=7$ и коэффициентом адаптивной бинаризации $C=7$

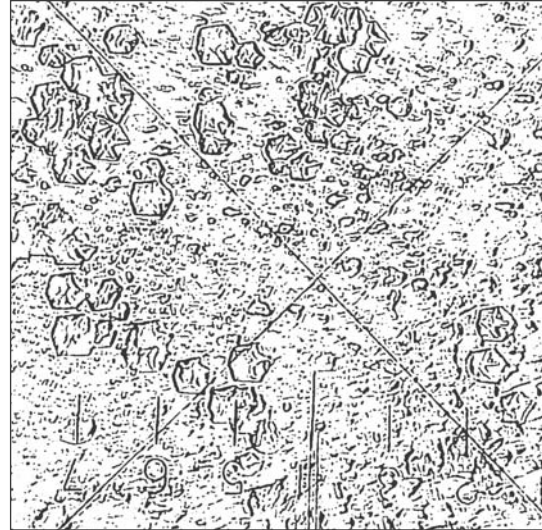


Рис. 3. Обработанное изображение пластины после применения медианного фильтра

Таблица 1

Процент площади обнаруженных точек фрагментов при значениях коэффициента адаптивной бинаризации $C=[4...40]$ для изображения и значение площади $S_{бин}$ %

№	C	N	$S\%$	$S_{бин}\%$
1	4	7	57,75	42,250
2	7	7	62,601	37,399
3	10	7	66,876	33,124
4	15	7	72,716	27,284
5	20	7	77,25	22,75
6	25	7	80,78	19,22
7	30	7	83,588	16,412
8	40	7	87,718	12,282

Экспериментальные данные в таблице 2 показывают, что процент площади $S_{мед}\%$ после обработки изображения медианным фильтром с минимальным параметром усреднения 2 пикселя заметно уменьшает количество фрагментов изображения. Тем самым уменьшается суммарный объем операций для дальнейшей обработки. Количественные параметры (доля площади после обработки медианным фильтром $S_{мед}\%$) приведены в таблице 2.

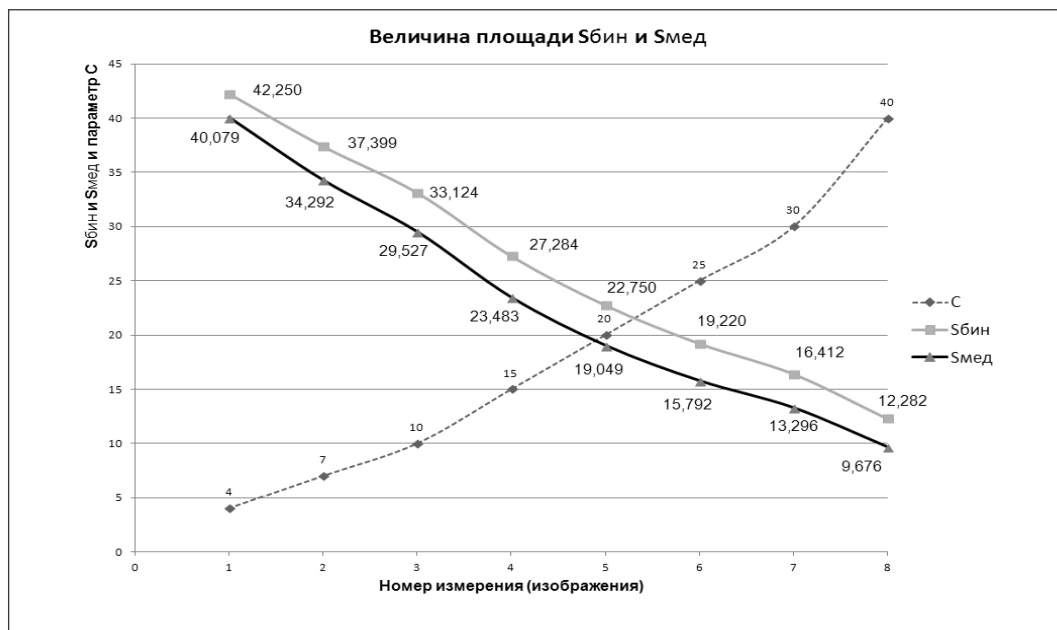


Рис. 4. График зависимости $S_{бин}\%$, $S_{мед}\%$ площади фрагментов после адаптивной бинаризации $S_{бин}\%$ и дополнительной обработки медианным фильтром $S_{мед}\%$ соответственно, при изменении коэффициента адаптивной бинаризации $C=[4...40]$ для полутонового восьмибитного изображения пластины полупроводника GaAs ориентации [100]

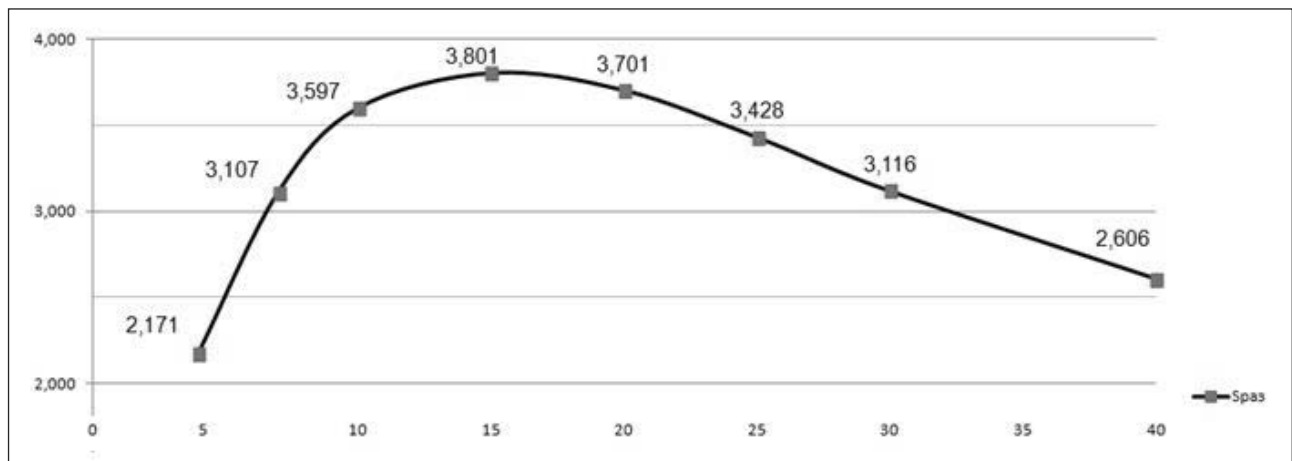


Рис. 5. Графічне зображення різниці площей $S\Delta\%$ показує величину зменшення площі бінаризованих фрагментів пластини напівпровідника GaAs орієнтації [100] після адаптивної бінаризації з коефіцієнтом $C=[4...40]$ і медіанного фільтра

Таблиця 2

Процент площі виявлених точок фрагментів $S_{мед}\%$ бінаризованного зображення обробленого медіанним фільтром для значень коефіцієнта адаптивної бінаризації $C=[4...40]$

№	C	S%	$S_{мед}\%$
1	4	59,921	40,079
2	7	65,708	34,292
3	10	70,473	29,527
4	15	76,517	23,483
5	20	80,951	19,049
6	25	84,208	15,792
7	30	86,704	13,296
8	40	90,324	9,676

Площа фрагментів після бінаризації фрагментів $S_{бин}\%$ з параметром бінаризації $C=[4...40]$, а також площа $S_{мед}\%$ після обробки медіанним фільтром (таблиці 1 і 2) мають залежність, показану на графіку (рис. 4).

Площа фрагментів $S_{бин}\%$ має устойчиво більше значення, ніж після обробки медіанним фільтром (площа $S_{мед}\%$). Проаналізуємо різницю в площах $S\Delta\%$ для різних значень $C=[4...40]$. Детальна оцінка $S\Delta\%$ з масштабуванням дозволить знайти визначені закономірності в обробці зображення.

Різниця площі $S\Delta\%$ отримується як $S\Delta\% = S_{бин}\% - S_{мед}\%$ після бінаризації фрагментів $S_{бин}\%$ з параметром бінаризації C , а також площа $S_{мед}\%$ після обробки медіанним фільтром показана на рис. 5 і в табл. 3.

Таблиця 3

Різниця площі $S\Delta\%$ точок фрагментів бінаризованного зображення $S_{бин}\%$ і обробленого медіанним фільтром $S_{мед}\%$ для різних значень коефіцієнта адаптивної бінаризації $C=[4...40]$

№	C	$S_{бин}\%$	$S_{мед}\%$	$S\Delta\%$
1	4	42,250	40,079	2,171
2	7	37,399	34,292	3,107
3	10	33,124	29,527	3,597
4	15	27,284	23,483	3,801
5	20	22,75	19,049	3,701
6	25	19,22	15,792	3,428
7	30	16,412	13,296	3,116
8	40	12,282	9,676	2,606

Вивчаючи різницю величину $S\Delta\%$ для значень $C=[4...40]$, представлену на рис. 4 в графічному вигляді, можна зробити висновок про отримання найбільшої різниці в площі $S\Delta\%$ після медіанного фільтра в разі значення $C=15$. Кількість виявлених точок зменшується з збільшенням значення коефіцієнта C .

Таким чином, аналізуючи результати адаптивної обробки яркостних порогів фрагментів цифрового растрового зображення пластини напівпровідника, можна утвердити, що варіація параметра $C=[4...40]$ дозволяє гнучко використовувати адаптивну бінаризацію для зменшення кількості незначущих фрагментів. З вищеприведених даних (рис. 4, табл. 3) можна побачити більше отриманих точок для $C=15$, ніж для інших значень C .

Даний факт підтверджує, з однієї сторони, скорочення кількості малих несуттєвих

ных фрагментов, с другой, позволяет определить коэффициент $C=15$ как оптимальный для метода адаптивной бинаризации с целью достижения наибольшей детализации данных о фрагментах в областях интереса на растровом изображении пластины полупроводника.

Выводы. Анализ результатов адаптивной обработки яркостных порогов для фрагментов цифрового растрового изображения пластины GaAs методом адаптивной обработки полутонового восьмибитного изображения со значением коэффициента адаптивной бинаризации $C=15$

показывает возможность автоматически выявлять максимальное количество фрагментов. Применение медианной фильтрации с параметром усреднения 2 пикселя объединяет ближние фрагменты и уменьшает количество незначимых фрагментов.

Дальнейшие исследования направлены на применение автоматического режима оценки степени бинаризации для получения фрагментов линий контуров предполагаемых граней бинаризованного изображения с целью обнаружения следов дислокаций на полупроводниковых пластинах GaAs.

Список литературы:

1. Самойлов А.Н., Петренко В.Р. Методы распознавания объектов цифрового изображения, отображающие структурные дефекты пластин GaAs, используемые для изготовления ФЭП. Функциональная база нанoeлектроники: материалы V Междунар. научн. конф., (Харьков– Кацивели, 30 сентября–5 октября 2012 г.). Харьков: ХНУРЭ, 2012. С. 386–389.
2. Самойлов А.Н., Петренко В.Р. Сравнение эффективности глобальных методов бинаризации растровых цветных изображений. Вестник КрНУ имени Михаила Остроградского. 2012. № 4(75). С. 49–54.
3. Chow C.K., Kaneko T. Automatic Boundary Detection of the Left Ventricle from Cineangiograms. Comp. Biomed. 1972. vol. 5. No. 34. PP. 388–410.
4. Gonzales R., Woods R. Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company, 1992. PP. 443–452.
5. Самойлов, А.Н. Исследование медианной фильтрации бинаризованных контуров дислокаций пластины GaAs на растровых цифровых изображениях. IT-Перспектива: материалы I Всеукр. науч.-практ. конф. (Кременчуг, 4–5 апреля 2014 р.). Кременчуг, 2014. С. 10–11.

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ АДАПТИВНОЇ ОБРОБКИ ЯРКІСНИХ ПОРОГІВ ФРАГМЕНТІВ ЦИФРОВОГО РАСТРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ ПЛАСТИНИ НАПІВПРОВІДНИКА

У статті досліджуються методи одержання бінаризованих цифрових зображень. Метод, що підлягає аналізу, оцінюється з точки зору використання бінаризації зображення пластины напівпровідника. Дислокацію можна описати як схему з геометричними примітивами – лініями в поєднанні зі структурним описом форми дислокації для піксельного аналізу. Аналізуються параметри, що впливають на настройку методу з метою використання в обробці цифрових зображень пластин напівпровідників GaAs.

Ключові слова: глобальна бінаризація, адаптивна бінаризація, растрове зображення, фрагмент, дислокація, пластина GaAs, ямки травлення.

RESULTS OF THE ANALYSIS OF ADAPTIVE PROCESSING OF THE BRIGHTNESS THRESHOLD OF THE DIGITAL RASTER IMAGES SEMICONDUCTOR WAFER

The given work is devoted to the methods of obtaining binarized digital images on the wafer GaAs. The analyzed method is evaluated for view of using for semiconductor plate for image binarization. Dislocation can be described as an outline with geometric primitives – lines in conjunction with a structural description of the form of dislocation and per-pixel analysis. Parameters for adjusting the method for the purpose of using in the processing of digital images of GaAs semiconductor plates are analyzed.

Key words: global binarization, adaptive binarization, raster image, fragment, dislocation, etching pits, wafer GaAs.