

УДК 681.3: 681.7.023.7: 621.923.7+528.854

Компьютерная методика оценки качества полированных поверхностей поликристаллических халькогенидов цинка

Е. М. Гавришук, Е. Ю. Вилкова, А. Н. Колесников, О. В. Тимофеев
Институт химии высокочистых веществ РАН, г. Нижний Новгород, Россия

Разработана методика количественной оценки оптической чистоты полированной поверхности селенида цинка. Основу методики составляет компьютерное распознавание дефектов на микрофотографиях поверхности, что позволяет построить их функции распределения по размерам и определить качество полирования согласно ГОСТ 11141—84.

PACS: 85.60.-g

Введение

В настоящее время в науке и технике широко применяются мощные CO₂-лазеры, работающие на длине волны 10,6 мкм. Прходные оптические элементы, используемые для формирования и передачи мощного лазерного излучения, обычно изготавливаются из поликристаллического селенида цинка, получаемого методом химического осаждения из газовой фазы (ZnSe—CVD). Необходимым условием для надежной работы таких оптических элементов является отсутствие дефектов на их поверхности, образующихся при абразивной обработке [1—3].

Оптимизация технологических режимов процесса полирования оптических элементов из селенида цинка сопровождается значительным объемом работы по визуальному исследованию полируемых поверхностей. Оценка качества поверхности сводится к субъективному мнению исследователя, в значительной мере зависит от опыта и квалификации последнего и является довольно приблизительной.

Новые возможности в решении этих проблем предоставляют современные цифровые технологии и программные методы распознавания образа. Существующие разработки дают общие принципы и некоторые приемы этой технологии. Для конкретной проблемы задачу компьютерной обработки изображения приходится во многом решать заново. Наличие такой программы позволяет не только облегчить и ускорить работы, но и повысить единообразие критериев, используемых для оценки качества обработки поверхности.

Цель настоящей статьи — определить основные принципы, которые могут быть заложены в основу распознавания дефектов поверхности, и представить результаты, полученные для оптических поверхностей халькогенидов цинка с применением разработанного на этой базе программного обеспечения.

Основные характеристики разработанной программы

Применяемые в программе критерии оценки чистоты оптических поверхностей основаны на действующем в настоящее время в России ГОСТ 11141—84. Исходные фотографии для исследования получены следующим образом. С образца полированного селенида цинка в виде круглого оптического элемента диаметром около 2,5 см сделано от 10 до 50 цифровых фотографий с помощью оптического микроскопа "Ахиоплан 2" немецкой фирмы Carl Zeiss, оснащенного цифровой камерой. Каждая цифровая микрофотография (рис. 1) представляет собой матрицу примерно 1000×1000 элементарных объектов изображения — пикселей, которые содержат информацию о яркости соответствующего участка. Размеры регистрируемого участка поверхности образца зависели от выбранного увеличения микроскопа. Минимальные встречавшиеся размеры были около 100×100 мкм, максимальные имели длину сторон около 1 мм.

Исходная фотография (см. рис. 1, а) имеет, как правило, неравномерную освещенность, поэтому прежде всего программа выравнивает экспозицию всего изображения. Результат выравнивания показан на рис. 1, б. Далее выделяются наиболее контрастные участки, соответствующие дефектам (см. рис. 1, в).

Границы дефектов, видимые на рис. 1, б, неидеальны, плавно перетекают в фон, имеют многочисленные выступы и зазубрины. Выделение дефектных участков, показанное на рис. 1, в, происходит путем определения критического уровня яркости пикселя K_{cr} . При яркости ниже критической участок считается дефектным, более яркие участки принимаются как отполированный фон. Для определения критического уровня яркости для всего изображения строится функция распределения пикселей по яркости, типичная функция показана на рис. 2: по оси абсцисс — яркость пикселя 0 —

черный, 255 — белый; по оси ординат — число пикселей соответствующей яркости на изображе-

нии, вертикальная линия — положение критического уровня яркости.

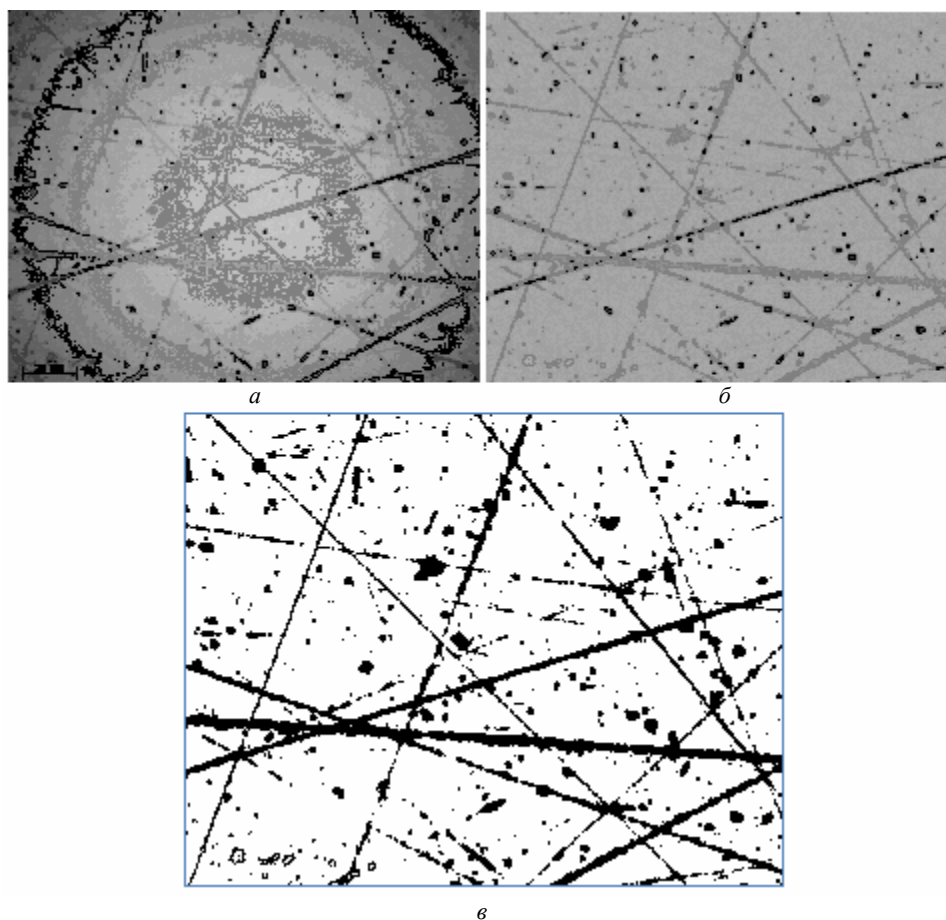


Рис. 1. Алгоритм компьютерной обработки изображения полированной поверхности селенида цинка

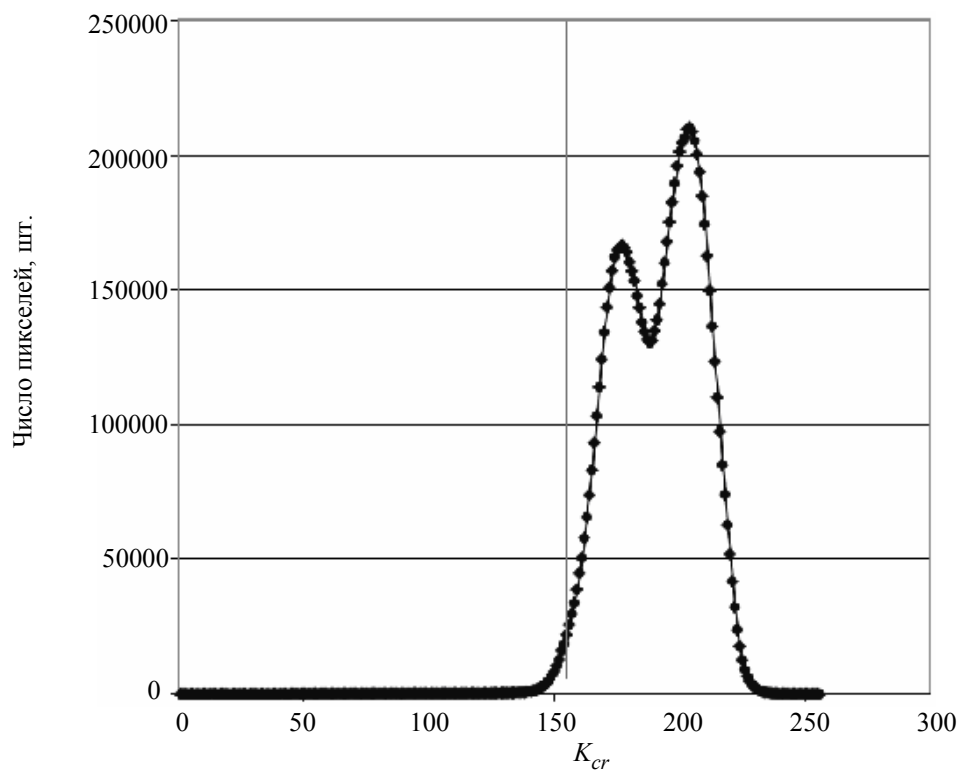


Рис. 2. Типичная функция распределения пикселей по яркости

Значение K_{cr} определяли, исходя из общей яркости фотографии и некоторых характеристик функции распределения яркости

$$K_{cr} = N + A \left(B - \frac{\sum_{i \leq N} (i \times n_i)}{\sum_{i \leq 255} n_i} \right);$$

$$\frac{\sum_{i \leq N} n_i}{\sum_{i \leq 255} n_i} \geq C,$$

где A, B, C — некоторые постоянные, подбираемые в зависимости от технологических условий;

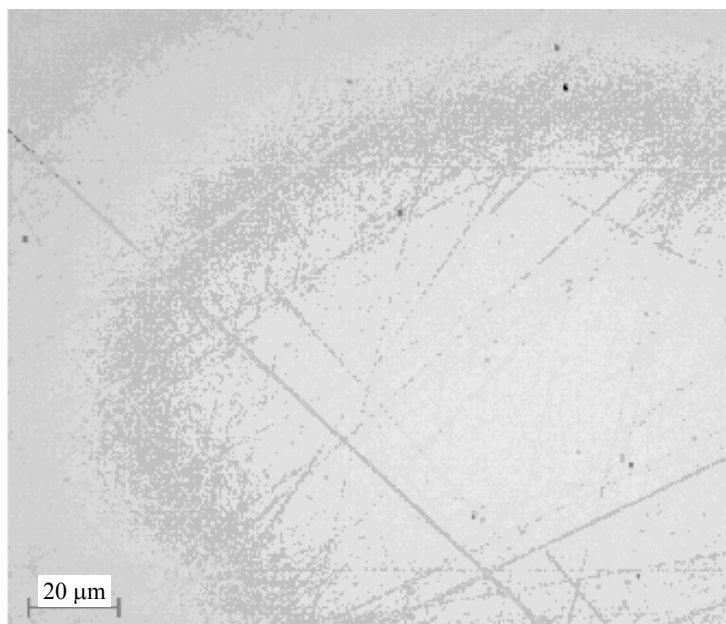
i — яркость пикселя (0—255);

n_i — число пикселей в интервале i ;

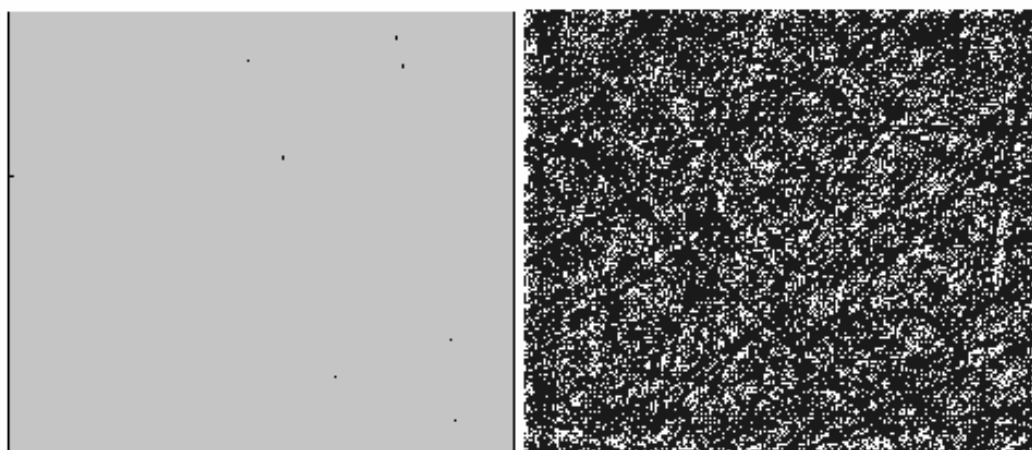
N — наименьшее значение, при котором выполняется данное технологическое условие.

Критическая линия обычно отделяет лишь несколько процентов пикселей. От точности расположения этой линии зависят результаты.

На рис. 3 поэтапно показано, как может влиять определение критического уровня. При смещении критического уровня (см. рис. 3, в) обнаружено большое множество дефектов, практически незаметных глазу, видны царапины шириной в 1 пиксель, что соответствует размерам менее 100 нм, т. е. это уже нанодфекты.



a



б

в

Рис. 3. Фотографии полированной поверхности селенида цинка:
 а — исходная микрофотография участка с высоким качеством полирования;
 б — изображение дефектов при нормальном положении K_{cr} ;
 в — изображение дефектов при небольшом смещении K_{cr}

Наиболее эффективным оказался алгоритм, основанный на покрытии выделенных дефектных участков кругами, имеющими максимальные возможные размеры. Отыскиваем наиболее длинную цепочку кругов, которую можно построить, придерживаясь примерно одного направления, и определяем длину и ширину дефекта. Если соотношение длины и ширины дефекта превышает 3:1, то в соответствии с упомянутыми нормативными документами он считается царапиной, при меньшем соотношении — точкой.

Набор из нескольких десятков фотографий одного образца программа объединяет с соответствующей весовой функцией в единый набор данных, и по ним строятся функции распределения дефектов по размерам (рис. 4). Диапазон изменения размеров дефектов от нуля до 20 мкм разбит на 40 интервалов по половине микрона. В каждом интервале указывается, насколько часто встречаются дефекты соответствующих размеров.

Функции распределения показывают результаты, полученные после первичной обработки фотографий. Ввиду ограничений разрешающей способности, обусловленных выбранной методикой, для размеров около 1 мкм и менее эти функции следует рассматривать как оценочные с большой погрешностью. На основании функции распре-

деления дефектов поверхности (царапин и точек) по размерам программа классифицирует контролируемую поверхность по чистоте в соответствии с ГОСТ 11141—84 сразу по нескольким параметрам.

Оценка погрешности измерений

Погрешность приведенных данных определяется следующими составляющими.

- *Представительность выборки.* Микрофотографии охватывают менее 1 % поверхности, поэтому важно включить все ее типичные элементы, присвоить правильную весовую функцию, которая используется при объединении всех фотографий некоторого образца в единый блок данных.

- *Правильность работы программы по распознаванию дефектов.* Программа не может охватить все разнообразие ситуаций и в ряде случаев использует упрощенный и не вполне верный подход. Однако, как показывает проведенное экспертное сравнение фотографий и результатов их обработки, более 90 % дефектов (по их площади) распознаются корректно, и вклад от этой части погрешностей невелик. В то же время нормативный документ (государственный стандарт,

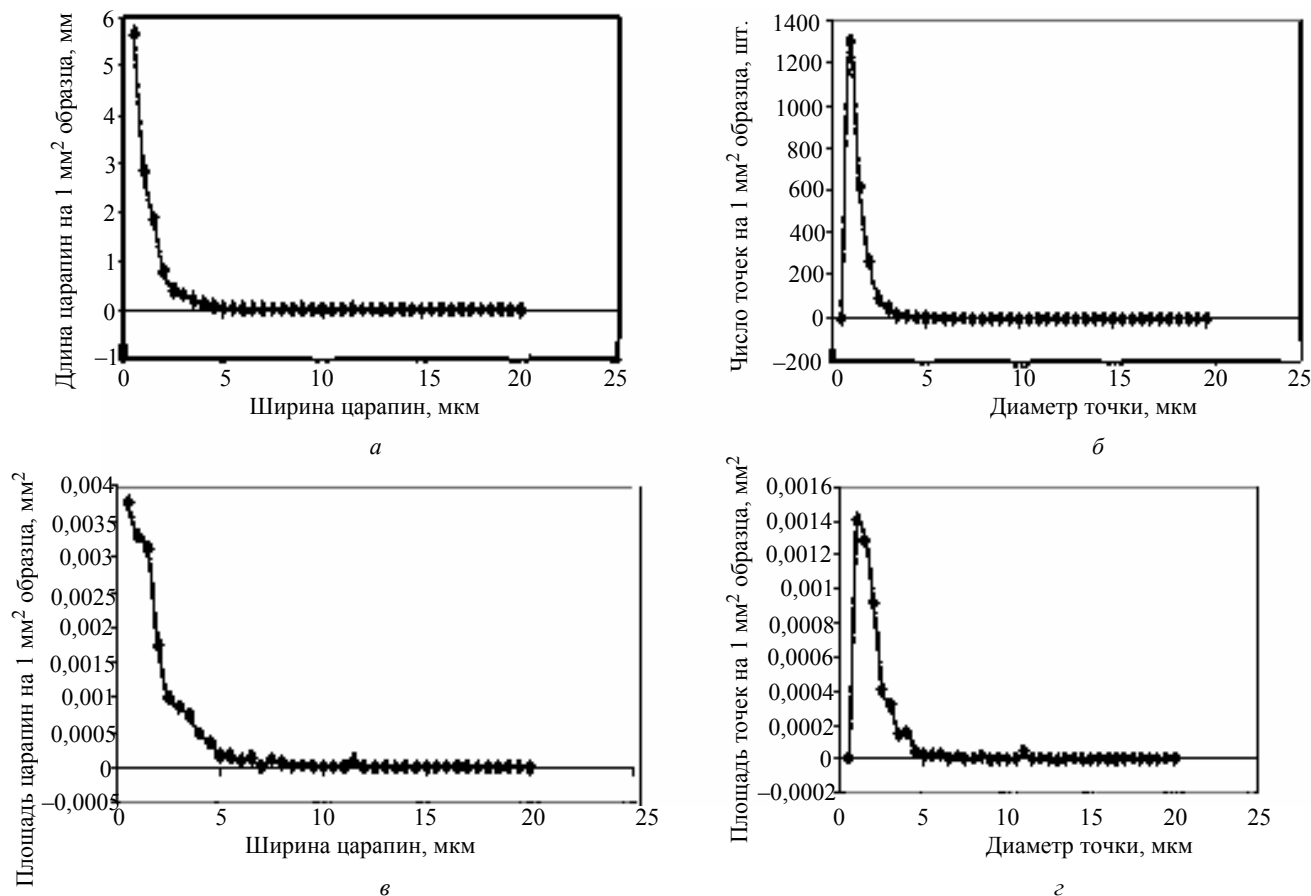


Рис. 4. Функции распределения дефектов по размерам (а—г), отнесенным к 1 мм² поверхности образца

принятый в 1984 г.) не предусматривает столь детального изучения поверхности с использованием вычислительной техники и не дает достаточно четких критериев дефектов, применимых в подобных исследованиях.

• *Статистическая ошибка, вызванная случайным разбросом данных.* Поскольку для каждого образца имеется несколько десятков микрофотографий, то возможна оценка этого вида ошибок обычно принятыми методиками. Способ их расчета может варьироваться в зависимости от изучаемых параметров.

Приведенная методика предоставляет объективные количественные характеристики дефектов поверхности, которые позволят более детально изучить физико-химические процессы, происходящие при полировании.

Обработке подвергали высокочистый поликристаллический селенид и сульфид цинка, полученный методом химического осаждения из газовой фазы [4]. Для проведения экспериментов использовали диски из селенида цинка диаметром 20 мм и толщиной 5 мм. Данные образцы были вырезаны из пластины одного синтеза и предварительно одинаково обработаны. Обработку образцов в процессе эксперимента производили поблочно. Блок представлял собой дюралевую планшайбу, на которую были наклеены восемь образцов селенида цинка. Для блокировки образцов на планшайбе использовались наклеенные смолы на основе канифоли. Условия проведения экспериментов были выбраны на основании результатов, полученных ранее и описанных в работе [1]. Эксперименты проводили в одинаковых условиях: температура полирования 18—20 °С; общее время полирования 105 мин; скорость качания шпинделя и скорость вращения полировальника равнялись 54 и 6 об/мин,

соответственно; давление на блок составляло 34,3 кПа.

В качестве смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) применяли дистиллированную воду. Для проведения химико-механического полирования селенида цинка использовали небольшие количества 1-молярного раствора азотной кислоты. Полирование осуществляли с использованием алмазных микропорошков АСМ 2/1, 1/0 с величиной зерна 2 и 1 мкм, соответственно.

В качестве материала полировальника применяли полировочные смолы на основе канифоли. Методом химико-механического полирования (МХП) [5] были получены поверхности, имеющие различное качество. Класс чистоты поверхностей определялся по методике, описанной в ГОСТ 11141—84, и их качество соответствовало 3, 5 и 7 классам чистоты.

Поверхности были тщательно сфотографированы, фотографии обработаны с помощью описанной выше методики компьютерного зрения. В результате получено полное соответствие результатов компьютерного и визуального контроля. На рис. 5 показаны функции распределения царапин и точек на поверхности образцов сульфида цинка в зависимости от класса чистоты поверхности. Из рис. 5 видно, что на поверхности, отвечающей 3-му классу чистоты (см. рис. 5, кривая 1), содержится минимальное число точек и царапин, причем размеры их также минимальны. На поверхностях, отвечающих 7-му и 5-му классам чистоты (см. рис. 5, кривые 2, 3), количество дефектов резко возрастает, размеры их также увеличиваются. Сравнение полученных результатов с визуальной оценкой поверхностей с помощью оптического микроскопа МБС-9 показало их удовлетворительное согласие.

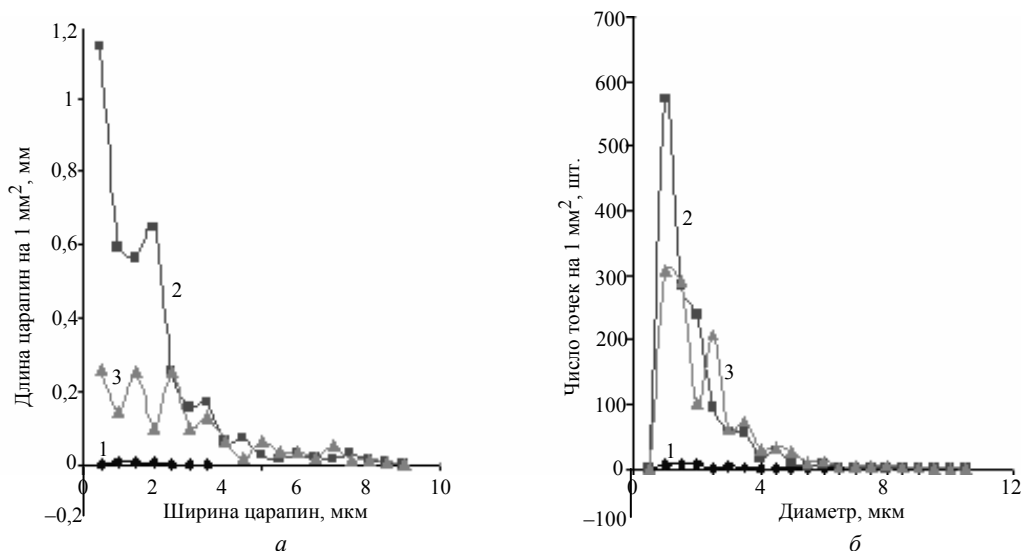


Рис. 5. Функция распределения царапин и точек на поверхности образцов сульфида цинка в зависимости от класса чистоты поверхности:

1 — 3-й кл.; 2 — 7-й кл.; 3 — 5-й кл.

Заключение

Показана принципиальная возможность распознавания на изображениях полированной поверхности халькогенидов цинка вида имеющих дефектов и определения их количественных характеристик.

Разработана методика использования компьютерной программы для оценки качества полированных поверхностей в соответствии с ГОСТ 11141—84. Отмечено, что положения этого стандарта требуют доработки для однозначной идентификации вида и размеров дефектов поверхности.

Разработаны алгоритмы и программное обеспечение для получения детальных количественных характеристик дефектов поверхности, в том числе их функций распределения по размерам.

Литература

1. Гавришчук Е. М., Тимофеев О. В., Погорелко А. А., Сучков А. И.//Неорганические материалы. 2004. Т. 40. № 3. С. 267.
2. Гавришчук Е. М., Потелов В. В., Сенюк Б. Н., Тимофеев О. В.//Прикладная физика. 2005. № 5. С. 107.
3. Тимофеев О. В., Кушнин С. Р., Гавришчук Е. М., Радыбин Б. А.: Тез. докл. 12-й конф. "Высококачественные вещества и материалы (получение, анализ, применение)". — г. Нижний Новгород, 2004. С. 299.
4. Девярых Г. Г., Коршунов И. А., Гавришчук Е. М. и др.//Высококачественные вещества. 1993. № 3. С. 16.
5. Боровских У. П., Тимофеев О. В., Вилкова Е. Ю., Попова Е. Ю.: Тез. докл. 13-й конф. "Высококачественные вещества и материалы (получение, анализ, применение)". — Нижний Новгород, 2007. С. 196.

Статья поступила в редакцию 9 октября 2008 г.

Computer estimation procedure for quality of the polished surfaces of polycrystalline zinc chalcogenides

E. M. Gavrishchuk, E. Yu. Vilkova, A. N. Kolesnikov, O. V. Timofeev
Institute of chemistry of high-purity substances RAS, Nizhniy Novgorod, Russia

A procedure for the quantitative assessment of the optical finish of the polished surface of zinc selenide is developed. The procedure is based on computer recognition of defects on microphotography of surface which makes it possible to build their distribution functions according to the sizes and to determine the quality of polishing according to GOST 11141—84.

PACS: 85.60.-g

УДК 548.25: 621.383.4

Разработка элементов технологии монолитного инфракрасного фотоприемника

М. В. Якушев, В. В. Васильев, С. А. Дворецкий, Т. И. Захарьян, А. И. Козлов,
Ю. Г. Сидоров, Б. И. Фомин, А. Л. Асеев
Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск, Россия

А. В. Виноградов
УРБВТиСП Минобороны России, Москва, Россия

Е. В. Дегтярев
ФГУ "22 ЦНИИ России", Мытищи Московской обл., Россия

Предложена технология инфракрасных (ИК)-детекторов, основанная на монолитных интегрированных ИК-матрицах фокальной плоскости, которая может стать заменой традиционной технологии гибридных матриц фокальной плоскости. Исследованы критические вопросы, касающиеся выращивания слоев HgCdTe на кремниевой считывающей интегральной схеме (ИС) и создания монолитных матриц фокальной плоскости: 1 — модель кремниевой считывающей ИС и макеты матриц фокальной плоскости; 2 — устойчивость