

## Контроль фотошаблонов с использованием цифровых методов

*А. В. Лысенко<sup>1\*</sup>, Д. М. Никулин<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,  
Российская Федерация  
\* e-mail: nastushae@mail.ru

**Аннотация.** Изготовление фотошаблонов является одним из наиболее сложных процессов в микроэлектронике. От точности изготовления элементов фотошаблона зависит точность изготовления микросхем. В статье предложена методика контроля дефектов, совмещаемости и измерения размеров элементов фотошаблонов на основе цифровой обработки изображений с использованием программных продуктов. Приведена конструкция экспериментальной установки для контроля качества и точности фотошаблонов с использованием оптических и оптико-электронных приборов. Рассчитаны оптические характеристики предложенной установки: поле зрения и разрешение. Приведены экспериментальные результаты контроля дефектов фотошаблонов на ней по трем технологическим параметрам: поиск дефектов, контроль геометрических размеров элементов и совмещение. Экспериментальные результаты показывают возможность использования подобных установок при контроле дефектности и оценки характеристик топологии фотошаблонов.

**Ключевые слова:** фотошаблоны, фотолитография, микроэлектроника

## Control of photomasks using digital methods

*A. V. Iisenko<sup>1\*</sup>, D. M. Nikulin<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
\* e-mail: nastushae@mail.ru

**Abstract.** The production of photomasks is one of the most complex processes in microelectronics. The precision of manufacturing the elements of the photomask depends on the accuracy of manufacturing the chips. The article proposes a technique for controlling defects, compatibility and measuring the size of elements of photomasks based on digital image processing using software products. The design of an experimental installation for quality control and accuracy of photomasks using optical and optoelectronic devices is given. The optical characteristics of the proposed installation are calculated: field of view and resolution. Experimental results of the control of defects of photomasks on it according to three technological parameters are presented: the search for defects, the control of the geometric dimensions of elements and the combination. Experimental results show the possibility of using such installations for defect control and evaluation of the topology characteristics of photomasks.

**Keywords:** photomasks, photolithography, microelectronics

### *Введение*

Фотошаблоны используются в качестве инструмента для переноса топологического или любого другого рисунка на поверхность с фоточувствительным элементом – фоторезистом. Помимо топологии интегральных микросхем, с помощью фотошаблонов изготавливают различные оптические шкалы для оптико-

электронных приборов: геодезические и штриховые лимбы, кодовые лимбы, сетки, миры и тест таблицы [1].

Дефекты в контролируемом фотошаблоне разнообразны по видам и причинам их появления [2, 3]. Основные виды дефектов показаны на рисунке 1. Контролируемые дефекты могут относиться к стеклам фотошаблонов: царапины, выколы, свилю; к дефектам плёнок: проколы, неравномерность толщины и оптической плотности, крупные кристаллиты, выступающие над поверхностью плёнки; дефекты, появившиеся после травления фотошаблонов: невытравленные элементы или наоборот перетравленные элементы, протравившиеся дыры в плёнках оксида железа или хрома.

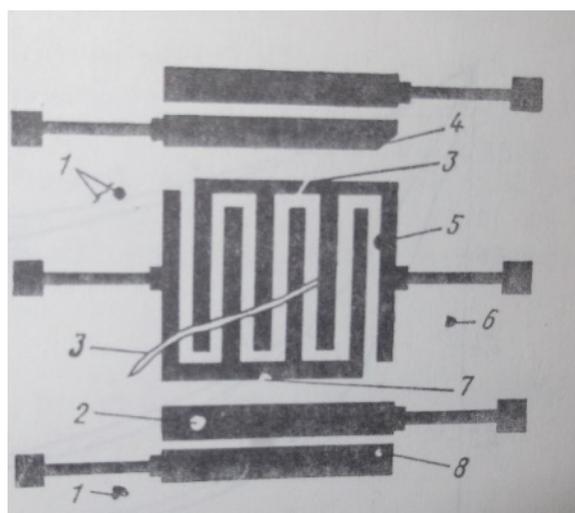


Рис. 1. Дефекты фотошаблона:

1 – загрязнения; 2 – большое отверстие; 3 – царапина; 4 – потеря адгезии; 5 – избыток маскирующего материала (наплыв, краевой выступ); 6 – непрозрачная точка; 7 – дефект краевого растрава; 8 – малое отверстие (прокол)

Оператор в зависимости от вида, размера и возможности устранения дефектов фотошаблона ведет отбраковку в соответствии с критериями годности [4, 5].

### ***Контроль фотошаблонов***

Контроль дефектов в фотошаблонах является трудоёмким процессом, требующий от оператора большой внимательности и усидчивости. Комплекты фотошаблонов в первую очередь проверяют на отсутствие дефектов, контроль размеров топологии и совмещаемость [6].

#### ***1. Контроль дефектов***

Наиболее эффективным методом контроля фотошаблонов на дефекты, является контроль под стереоскопическим микроскопом при 600-кратном увеличении размеров, изучение дефекта рисунка, контрастности, вуали, резкости краев линий рисунка, установление проколов и других дефектов [6].

## 2. Проверка геометрических размеров

Контроль размеров осуществляется на специальных измерительных установках, например ЭМ-557, микроскопах типа МИИ - 4, МИМ - 7 с окулярным микрометром [2,7,8]. Данные установки позволяют контролировать размеры от 10 мкм и выше, а также контролировать проколы размером 2 мкм. Более мелкие размеры контролируются на микроскопах. Измерение под микроскопами указанных типов позволяет производить оценку размеров от 1 до 15 мкм с точностью  $\pm 0,3$  мкм [6].

## 3. Совмещение комплекта фотошаблонов

Контроль совмещаемости комплекта фотошаблонов проводится на микроскопах имеющих функцию сравнения, которое обеспечивает оптическое наложение двух фотошаблонов друг на друга, окрашенные в дополнительные цвета (например, красный и зелёный) [2,6].

Таким образом, при наложении двух слоёв друг на друга, на совмещённых участках образуется нейтральный цвет (смешение красного и зелёного цветов). Участки, которые не совмещены, имеют один из оттенков соответственно. Измерения рассовмещаемости проводится в плоскости изображения с помощью микрометров встроенных в оптические каналы микроскопа сравнения [2].

### *Установка для контроля качества и точности фотошаблонов*

Оптическая и оптико-электронная часть установки представляет из себя микроскоп марки Carl Zeiss и камеру Levenhuk C130 NG. Технические характеристики камеры показаны в таблице 1 [9].

Таблица 1

Технические характеристики камеры Levenhuk C130 NG	
Максимальное разрешение	1280x1024
Количество пикселей	1,3М
Чувствительный элемент	1/2" CMOS
Размер пикселя, мкм	3,6x3,6
Чувствительность, Вольт/люкс-секунду на длине волны 550 нм	1,0
Время выдержки, мс	0,14 – 2000

На рисунках 2 и 3 показаны параксиальная и аксонометрическая схемы предложенной установки.

Для оценки поля зрения и разрешения камеры с микроскопом можно воспользоваться формулой [10]:

$$y = \frac{y'}{\beta}, \quad (1)$$

где  $y$  – поле зрения фотошаблона;  $y'$  – размер матрицы камеры;  $\beta$  – увеличение объектива микроскопа и камеры ( $\beta_{об} \cdot \beta_{кам}$ ).

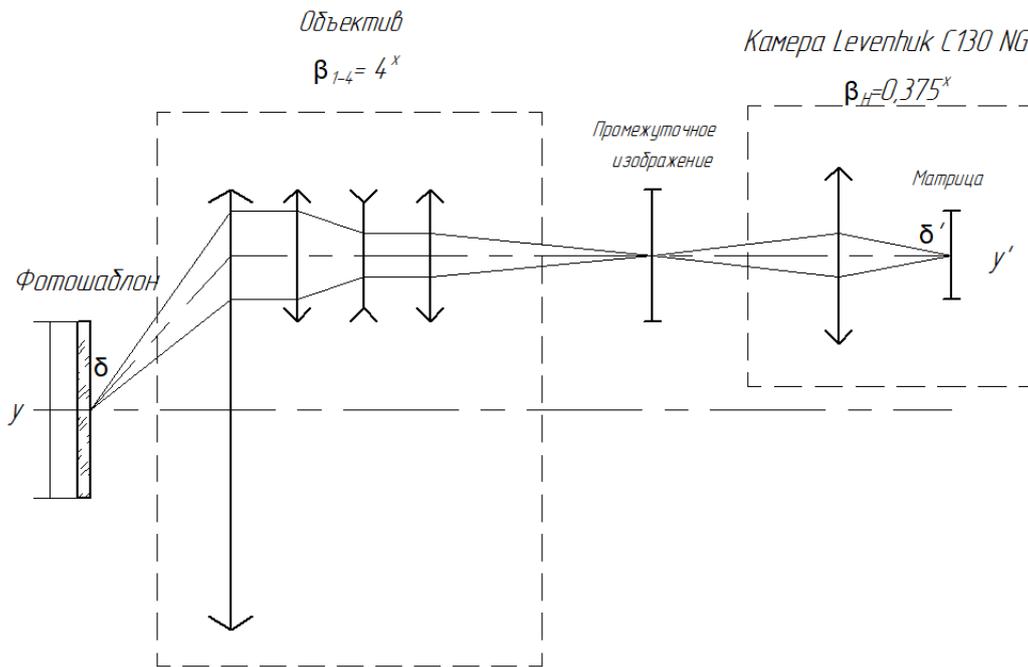


Рис. 2. Оптическая схема в тонких компонентах

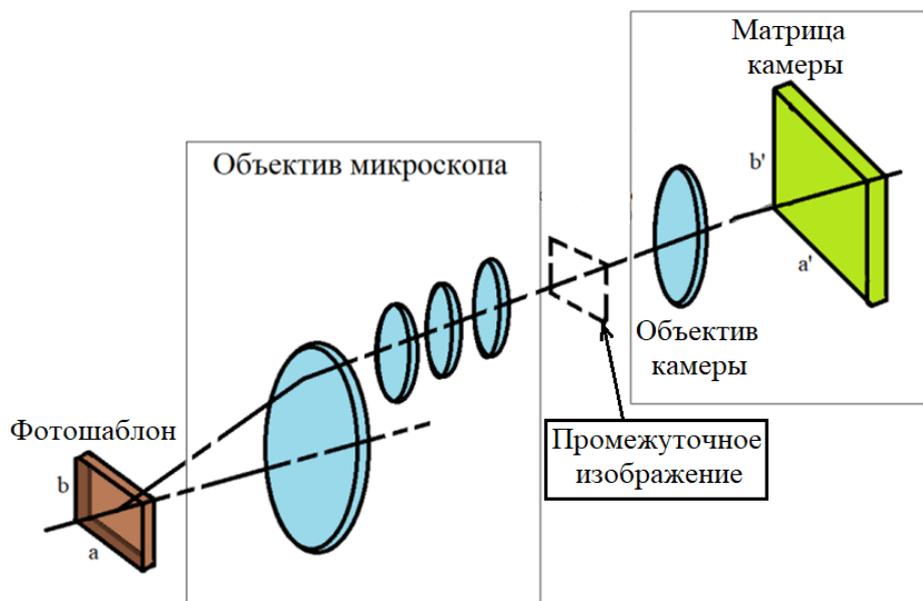


Рис. 3. Аксонометрическая схема

Горизонтальный  $a'$  и вертикальный  $b'$  размер матрицы, рис. 3, вычисляются по формуле:

$$a' = N_{гор} \cdot \delta' = 1280 \cdot 0,0036 = 4,68 \text{ мм}, \quad (2)$$

$$b' = N_{\text{вер}} \cdot \delta' = 1024 \cdot 0,0036 = 3,68 \text{ мм}, \quad (3)$$

где  $N_{\text{гор}}$  и  $N_{\text{вер}}$  – количество пикселей в матрице по горизонтали и вертикали соответственно,  $\delta'$  – размер пикселя в мм.

Для микроскопа с объективом  $4^{\times}$ , камерой с увеличением  $0,375^{\times}$  и с размерами матрицы  $4,68 \text{ мм} \times 3,68 \text{ мм}$  поле зрения фотошаблона составляет:

$$a = \frac{a'}{\beta} = \frac{4,68}{4 \cdot 0,375} = 3,12 \text{ мм},$$

$$b = \frac{b'}{\beta} = \frac{3,68}{4 \cdot 0,375} = 2,45 \text{ мм}.$$

Аналогично можно оценить и разрешение  $\delta$ :

$$\delta = \frac{\delta'}{\beta} = \frac{0,0036}{4 \cdot 0,375} = 0,0024 \text{ мм/пиксель} = 2,4 \text{ мкм/пиксель}.$$

Одному пикселю соответствует объект размером  $2,4 \text{ мкм}$ .

### ***Экспериментальные результаты контроля фотошаблонов***

Для просмотра, сохранения и обработки фото и видео, сделанных с помощью окулярной камеры для телескопов и микроскопов Levenhuk C130 NG, используется программное приложение LevenhukLite [9].

Приложение для окулярной камеры позволяет делать фотографии и видео нескольких разрешений, максимальное разрешение составляет  $1280 \times 1024$ .

Программа предоставляет возможность для проведения различных измерений полученного изображения. Имеются команды для измерения различных геометрических фигур, накладываемых на изображение. Для выполнения измерений программа LevenhukLite использует технологию Layer (Слой). Это позволяет сохранять исходное изображение в неизменном виде.

В настройках изображения применяется ряд инструментов: уровни, автоуровни, автоконтраст, выравнивание гистограммы, яркость/контраст, цвет, фильтровать цвет, извлечь цвет, инвентировать.

Для обработки изображения применяются следующие инструменты: сшивание, фильтр, диапазон, сегментация, чёрно-белый, рельеф, псевдоцвет, объёмное изображение, профиль линии, рассеивание, зернение, мозаика, слияние.

Благодаря встроенным в программное обеспечение инструментам и функциям можно объединить все или несколько этапов проверки фотошаблона на годность.

#### ***1. Контроль на дефекты***

При просмотре фотошаблонов на дефекты используемый микроскоп позволяет смотреть на фотошаблон, как в прямом свете, так и в отражённом. На рис. 4

демонстрируется разница, как выглядит фотошаблон при прямом и при отражённом свете.

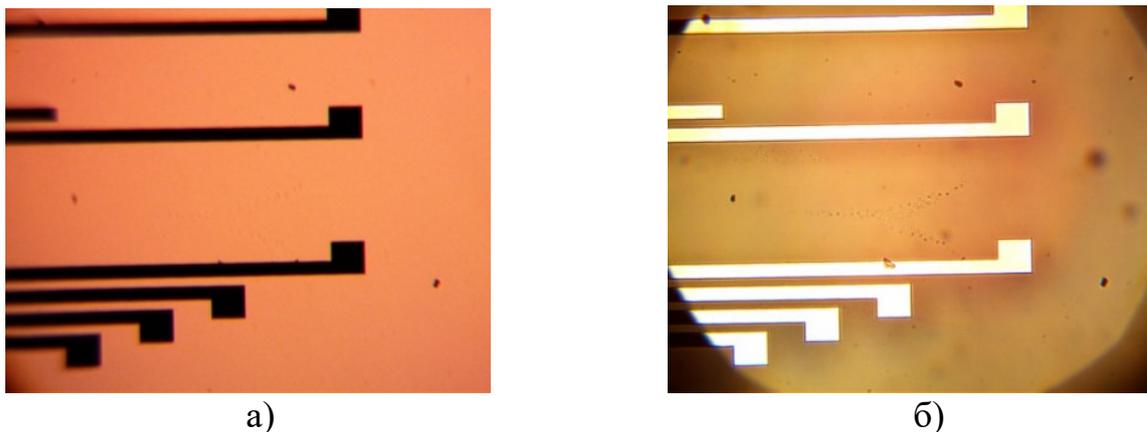


Рис. 4. Фотографии топологии фотошаблона:

а – топология фотошаблона при прямом свете; б – топология фотошаблона при отражённом свете

При сравнении видно, что инородные частицы (пыль) лучше видны при отражённом свете, так как свет отражается от слоя хрома, «подсвечивая» тем самым металлизированное покрытие, что легче позволяет отделить остатки хрома после операции травления от пыли. Если же вместо пыли обнаруживается остаток хрома, оператор отмечает место его нахождения и отправляет фотошаблон на операцию по удалению дефектов [2].

## 2. Контроль на рассовмещенность фотошаблонов

Для контроля фотошаблонов на совмещение были исследованы два разных слоя фотошаблона одной серии. На рис. 5 показаны этапы контроля: фотография фотошаблона № 5, фотография фотошаблона № 7 и результат их наложение друг на друга в графическом редакторе.

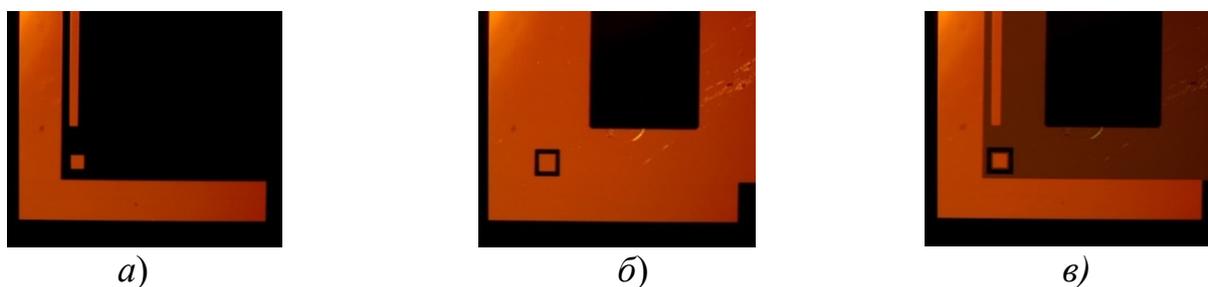


Рис. 5. Фотографии фотошаблонов и результат их совмещения:

а – фотография фотошаблона № 5; б – фотография фотошаблона № 7; в – результат их наложение друг на друга в графическом редакторе

Из анализа цифрового изображения совмещенных слоёв можно сделать вывод, что рассовмещение отсутствует.

### 3. Контроль геометрических размеров

Для контроля геометрических размеров элементов фотошаблона экспериментальным путем измерялось разрешение предлагаемой установки. Для этого в поле зрения оптической схемы помещался тест-объект размером 1000 мкм, цифровое изображение которого наблюдалось на экране ноутбука, с помощью приложения LevenhukLite на персональном компьютере. Программное окно приложения изображено на рис. 6.

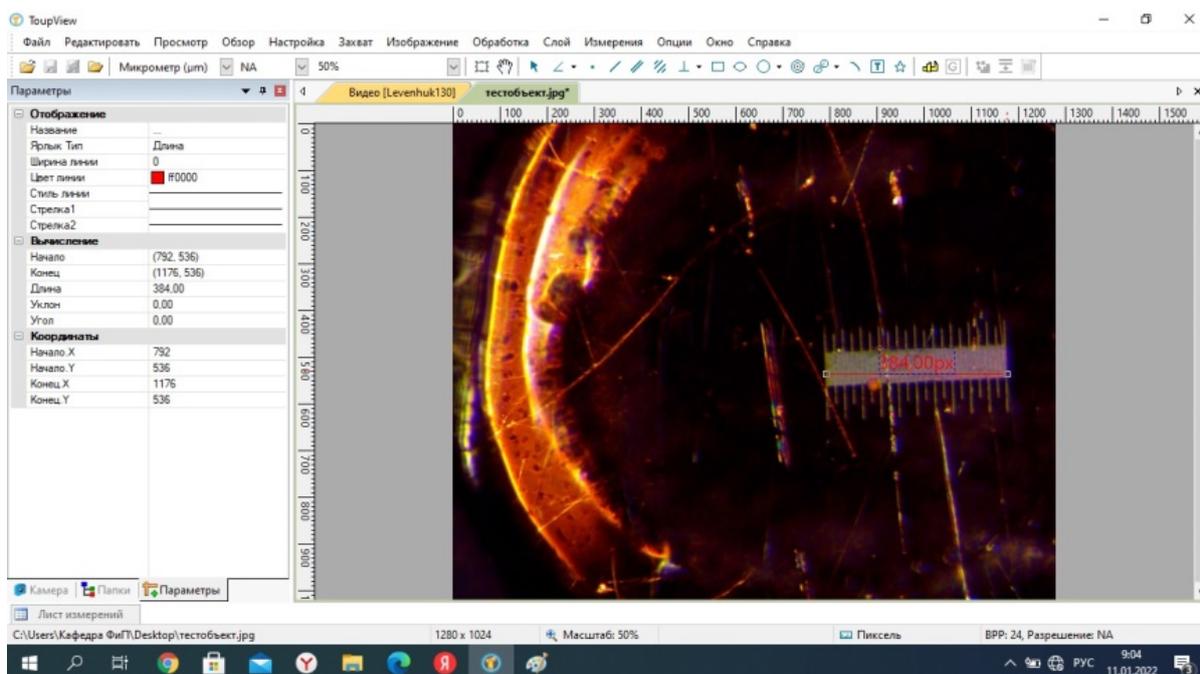


Рис. 6. Цифровое изображение тест-объекта

Как видно из рис. 6, цифровое изображение поля зрения укладывается на CMOS-матрицу в горизонтальном направлении на 1280 пиксель (верхняя горизонтальная шкала). Используя возможность программы, измерялся размер изображения тест-объекта в пикселях в горизонтальном направлении, его размер, рис. 6, составил 384 пикселя.

Экспериментальное разрешение камеры с микроскопом составило 2,6 мкм/пиксель ( $1000 \text{ мкм} / 384 \text{ пиксель}$ ), что хорошо согласуется с рассчитанным по формуле (3) значением.

Для демонстрации возможностей измерения размеров элементов, с помощью графического редактора было исследовано цифровое изображение участка топологии контролируемых элементов фотошаблона, представленное на рис. 7.

Измерялся размер в горизонтальном направлении сплошной линии в центре. Для более точного измерения размера в пикселях, цифровое изображение увеличивалось и измерялось, как показано на рис. 8.

Размер элемента составил 22 пиксель, что соответствует реальному геометрическому размеру 57,2 мкм ( $22 \text{ пиксель} \times 2,6 \text{ мкм/пиксель}$ ).

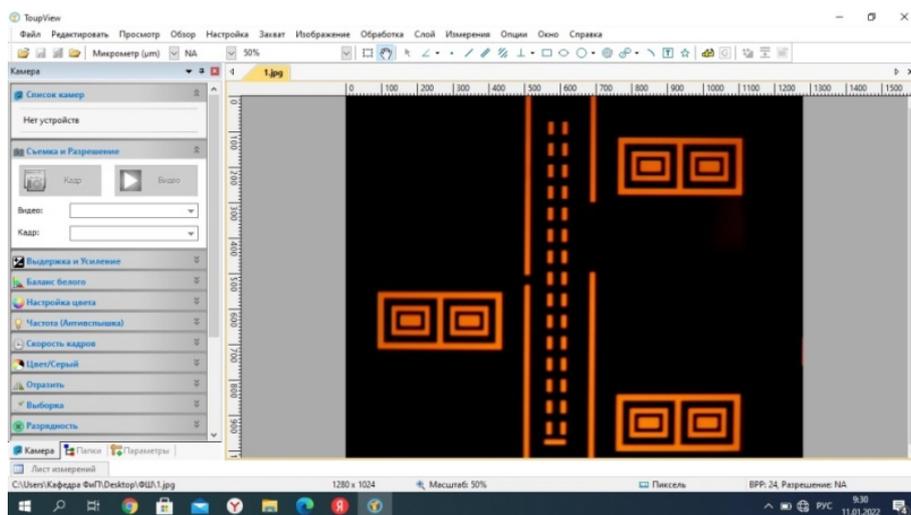


Рис. 7. Цифровое изображение топологии фотошаблона

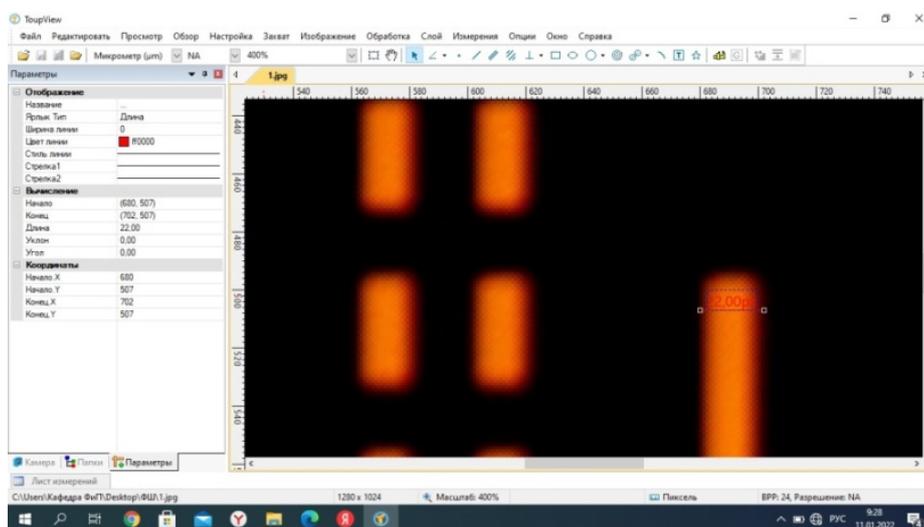


Рис. 8. Размер элемента в пикселях

### ***Выводы***

На предлагаемой установке будет возможно производить контроль фотошаблонов сразу по трем технологическим параметрам: поиск дефектов, контроль геометрических размеров элементов, совмещение.

Данная методика, основанная на использовании цифровых методах, имеет следующие преимущества по отношению к стандартным способам контроля фотошаблонов:

- сокращение затрат на штат оборудования, так как контроль всех трех технологических параметра проводятся на одной установке;
- сокращение времени на проверку фотошаблона из-за отсутствия необходимости перемещать фотошаблон от одной установки к другой;
- возможность сохранения цифровых изображений позволяет отправлять их разработчикам по электронной почте с замечаниями по топологии фотошаблонов; создавать архив файлов;

– позволяет оператору меньше напрягать шею и глаза при контроле фотошаблона на экране персонального компьютера.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кручинин Д. Ю. Фотолитографические технологии в производстве оптических деталей: учебное пособие / Д. Ю. Кручинин, Е. П. Фарафонтова. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 51, с.
2. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств : справочник / З. Ю. Готра. – Москва : Радио и связь, 1991. – 528 с.: ил.
3. Лысенко А. В., Никулин Д. М. Возникновение дефектов при изготовлении фотошаблонов // Международная научная конференция Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке» том 6 – Новосибирск, 2021. – С. 167-182.
4. Технология тонких пленок: справочник / под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. Нью-Йорк. 1970. Пер. с англ. Под ред. М. И. Елинсона, Г. Г. Смолко. Т.1. – Москва: Советское радио : 1977. – 664 с.
5. Федотов Я. А. Фотолитография и оптика / под ред. проф. Я. А. Федотова и проф. Г. Поля. – Москва : Советское радио ; Берлин : Техника, 1974. – 392 с.
6. Файловый архив студентов. Контроль фотошаблонов [Электронный ресурс] – URL : <https://studfile.net/preview/2817434/> (дата обращения: 27.05.2022).
7. Микроинтерферометр Линника МИИ-4. [Электронный ресурс] – URL: <http://web.tuke.sk/smetrologia/pdf/inferv1.pdf> (дата обращения: 27.05.2022).
8. Металлографический микроскоп МИМ-7 [Электронный ресурс] – URL: <https://helpiks.org/2-61981.html> (дата обращения: 27.05.2022).
9. Камера цифровая Levenhuk C130 NG 1,3М, USB 2.0 [Электронный ресурс] – URL: [https://www.levenhuk.ru/products/levenhuk\\_camera-c130-ng/](https://www.levenhuk.ru/products/levenhuk_camera-c130-ng/) (дата обращения: 01.05.2022).
10. Заказнов Н. П. Теория оптических систем : учебник для студентов приборостроительных специальностей вузов / Н. П. Заказнов, С. И. Кирюшин, В. И. Кузичев. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1992. – 448с. : ил.

© А. В. Лысенко, Д. М. Никулин, 2022