

Учреждение образования «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УДК 621.9.048:681.7.064:621.313.04

Аваков Сергей Мирзоевич

**Методы автоматического контроля топологии
планарных структур и их реализация в
электронном машиностроении**

Специальность 05.27.06 - «Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Минск 2002

Работа выполнена в Государственном научно-производственном концерне точного машиностроения «Планар».

- Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Чердынцев В.А., Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кафедра радиотехнических устройств.
- Научный консультант: доктор технических наук, профессор Карпович С.Е., Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кафедра высшей математики.
- Официальные оппоненты: член-корреспондент НАНБ, доктор технических наук, профессор Точицкий Э.И., «Плазмотег» Инженерный центр НАНБ; кандидат технических наук, старший научный сотрудник Дудкин А.А., Государственное научное учреждение «Институт технической кибернетики НАН Беларуси», лаборатория идентификации систем.
- Оппонирующая организация: Унитарное предприятие «Белмикросистемы» научно-производственного объединения «Интеграл».

Защита состоится 30 мая 2002 года в 14 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.03 при Учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220027, г. Минск, ул. П. Бровки 6, БГУИР, 1-й уч. корпус, ауд.232, тел.239-89-89.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Проблема создания оборудования для автоматического контроля оригиналов топологии изделий электронной техники является одной из основных в электронном машиностроении. Особенно острой эта проблема является в производстве СБИС, что определяется их очень высокой топологической сложностью. Без подобного оборудования предприятия электронной промышленности не могут конкурировать с западными фирмами, осваивать новые уровни технологии производства.

Импортное оборудование для автоматического контроля топологии является очень дорогим и выпускается единичными образцами (в основном в США). На рынке стран СНГ подобное оборудование отсутствует (на сегодняшний день ни на одном предприятии нет ни одной подобной установки). Стоимость установки автоматического контроля оригиналов топологии СБИС фирмы KLA&Tencor Instruments Corp. - KLA-351, например, составляет ориентировочно 2,3...3,7 млн. долларов США в зависимости от комплекта поставки, что, в совокупности с ограничениями на экспорт из США, делает подобное оборудование, практически, недоступным для предприятий СНГ, в частности, России и Белоруссии.

Учитывая вышесказанное, весьма актуальными являются разработки принципов проектирования данного оборудования как на уровне макропроектирования (эскизного проектирования), так и на уровне рабочего проектирования, а также создание подобных установок на этой основе. Внедрение оборудования для автоматического контроля топологии позволяет отечественным производителям средств электронной техники выходить на качественно новый уровень производства оригиналов топологии, а следовательно, и изделий электронной техники в целом.

Представленная работа заканчивается разработкой реального оборудования для автоматического контроля оригиналов топологии СБИС, которое по техническому уровню соответствует лучшим образцам западных фирм и успешно эксплуатируется на ряде отечественных и зарубежных предприятий, что делает диссертационную работу особенно актуальной.

Связь работы с крупными научно-техническими программами, темами. Результаты работы использованы концерном «Планар» при выполнении совместной российско-белорусской научно-технической программы «Разработка и создание оптико-механического и контрольного оборудования для производства сверхбольших интегральных схем с топологическими элементами 0,8...0,5 мкм» (поз.5 Программы), в соответствии с планом реализации указанной программы на 1998...2000 годы, утвержденным постановлением Исполкома Союза Беларуси и России от 9 декабря 1998 г. №10, и генеральным соглашением от 15

января 1999г. №ВС-176 между Исполкомом Союза Беларуси и России и НТА «Субмикро». Работа проводилась в период с июня 1996 г. по апрель 2000г. по общему техническому заданию на комплекс НИОКР, утвержденному Исполкомом Союза Беларуси и России, и частному техническому заданию на ОКР «Победа Д2», утвержденному Министерством оборонной промышленности Российской Федерации 23 мая 1997г.

В настоящее время результаты работы используются при проведении ОКР «Разработка и изготовление опытного образца установки автоматического контроля топологических структур на шаблонах с порогом обнаружения 0,25 мкм» шифр «Победа-2000-КТФШ», совместной российско-белорусской подпрограммы «Разработка и организация производства фотолитографического, контрольного и сборочного оборудования для изготовления сверхбольших интегральных схем», утверждённой постановлением Исполкома Союза Беларуси и России от 12 февраля 1999 года №1 (раздел 9, позиция 56) и НИР «Разработка и изготовление экспериментального образца установки автоматического контроля дефектности топологического рисунка в технологических слоях на полупроводниковых пластинах» шифр «Победа-КТТШ», раздел 9, поз.66 этой же программы.

В ближайшей перспективе результаты работы предполагается использовать в Республиканской научно-технической программе «Белэлектроника» при реализации подпрограммы «Разработка и освоение в производстве прецизионного технологического оборудования для выпуска нового поколения интегральной элементной базы, расширения экспортных поставок технологического оборудования и развитие отечественного электронного машиностроения на период 2001...2010 гг».

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы явилась разработка методов и алгоритмов, позволяющих реализовать автоматический контроль топологии планарных структур изделий электронной техники и создание на этой основе оборудования для автоматического контроля оригиналов топологии СБИС.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

- провести исследование и классификацию существующих способов автоматического контроля топологии;
- разработать метод выбора способа автоматического контроля топологии в зависимости от характеристик контролируемого объекта и требуемых условий контроля;
- разработать быстросействующие алгоритмы выделения контуров и определения связности планарных объектов, представленных бинаризованными моделями, с параллельной обработкой групп элементов разложения изображения, позволяющие решать задачу обработки

информации о дефектах при автоматическом контроле топологии СБИС в режиме реального времени;

- сформулировать необходимые и достаточные условия определения взаиморасположения топологических объектов для решения задачи классификации дефектов в реальном масштабе времени;

- разработать метод совмещения изображений, обеспечивающий устойчивость процесса автоматического контроля в диапазоне возможных рассовмещений реального и эталонного изображений;

- на основе полученных результатов разработать оборудование для автоматического контроля оригиналов топологии СБИС на фотошаблонах.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является оборудование для автоматического контроля топологии планарных структур изделий электронной техники. Предметом исследования являются методы и алгоритмы обработки информации при построении оборудования для автоматического контроля топологии изделий электронной техники.

Гипотеза. При параллельной обработке фрагментов изображения задачу выделения контуров дефектов можно решить с высокой производительностью, обеспечивающей возможность проведения анализа информации о несовпадениях реального и эталонного изображений в реальном масштабе времени. На основе сочетания логического и структурного подходов возможно построение алгоритма, позволяющего решить задачу определения связности дефектов при автоматическом контроле оригиналов топологии в реальном масштабе времени. Существует возможность создания алгоритма классификации дефектов, использующего только простейшие арифметические и логические операции (сложение, вычитание и сравнение) над проекциями этих дефектов на координатные оси. Устойчивость процесса автоматического контроля топологии может быть достигнута за счёт комплексного применения методов компенсации погрешностей совмещения с определением рассовмещения как статически, так и динамически.

Методология и методы проведённого исследования. Алгоритм выделения контура построен на базе сочетания структурного и логического подходов к проблеме классификации. Алгоритм определения связности объектов построен на базе модели конечного автомата. При практической реализации установки автоматического контроля топологии фотошаблонов реализован метод контроля реального изображения путём сравнения с проектными данными.

Научная новизна и значимость полученных результатов:

1. Впервые предложен и разработан метод выбора способа автоматического контроля топологии в зависимости от характеристик контролируемых топологических структур и условий контроля.

2. Разработан новый метод выделения контуров и определения связности дефектов топологии планарных структур, представленных бинаризованными моделями, отличающийся параллельной обработкой групп элементов разложения без предварительной сегментации, и реализующие его быстродействующие алгоритмы, позволяющие решать задачу обработки информации об одиночных и групповых дефектах в реальном масштабе времени при автоматическом контроле топологии.

3. Сформулированы необходимые и достаточные условия, определяющие взаимное расположение топологических объектов, путём выполнения элементарных арифметических операций над их проекциями на координатные оси, позволяющие решать задачу классификации дефектов топологии планарных структур при автоматическом контроле топологии в реальном масштабе времени.

4. Предложен и разработан новый метод совмещения изображений с компенсацией статически и динамически определяемых погрешностей с возможностью маскирования краевых несовпадений.

Практическая значимость полученных результатов:

1. Разработанный метод выбора способа автоматического контроля топологии планарных структур использован при эскизном проектировании установок ЭМ-6029АМ, ЭМ-6029Б, ЭМ-6329, ЭМ-6429.

2. Разработанный метод и реализующие его алгоритмы решения задачи выделения контура и определения связности элементов топологии планарных структур для одиночных и групповых дефектов использованы при разработке установок ЭМ-6029А, ЭМ-6029АМ, ЭМ-6029Б, ЭМ-6329.

3. На базе сформулированных и доказанных необходимых и достаточных условий, определяющих взаимное расположение топологических объектов, исходя из соотношений их проекций на координатные оси, разработаны быстродействующие алгоритмы классификации дефектов топологии планарных структур в реальном масштабе времени, которые использованы при проектировании установок ЭМ-6029А, ЭМ-6029АМ, ЭМ-6029Б, ЭМ-6329.

4. Разработанный метод совмещения изображений, реализующий компенсацию статически и динамически определяемых погрешностей с маскированием краевых несовпадений, использован при создании установок ЭМ-6029А, ЭМ-6029АМ, ЭМ-6029Б, ЭМ-6329.

5. С применением полученных результатов разработаны и внедрены в производство две модификации установок автоматического контроля оригиналов топологии СБИС ЭМ-6029АМ и ЭМ-6029Б. На территории стран СНГ установки такого класса созданы впервые. Образцы установок проданы в дальнее и ближнее зарубежье. Объём валютных поступлений составил 1,1 млн., а объём импортозамещения - 1,6 млн. долларов США.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Предложенный впервые метод выбора способа автоматического контроля топологии планарных структур изделий электронной техники, разработанный на базе проведенной классификации, обеспечивает корректный выбор способа для заданных условий контроля [2].

2. Новый метод выделения контуров и определения связности бинарных моделей дефектов топологии планарных структур с параллельной обработкой групп элементов разложения без предварительной сегментации и, реализующие его быстродействующие алгоритмы, позволяют решать задачу обработки информации об одиночных и групповых дефектах в реальном масштабе времени при автоматическом контроле топологии 4^x и 5^x шаблонов СБИС с проектными нормами до 0,18 мкм [3-5].

3. Установленные закономерности, определяющие взаимное расположение топологических объектов при помощи простейших арифметических операций над их проекциями, позволяют решать задачу классификации дефектов в реальном масштабе времени при автоматическом контроле топологии 4^x и 5^x шаблонов СБИС с проектными нормами до 0,35 мкм [3].

4. Предложенный новый метод совмещения изображений, реализующий компенсацию статически и динамически определяемых погрешностей с маскированием красных несовпадений, обеспечивает устойчивость процесса автоматического контроля топологии планарных структур в диапазоне размещений до восьми элементов разложения [2, 7].

5. Созданные впервые в СИП на базе представленных в работе методов и алгоритмов установки автоматического контроля топологии планарных структур ЭМ-6029АМ, ЭМ-6029Б обеспечивают возможность контроля топологии 4^x - 5^x шаблонов СБИС, разработанных с проектными нормами до 0,35 мкм [7-13].

Личный вклад соискателя. Содержание диссертации отражает личный вклад соискателя. Соискателем обобщен большой объем информации по методам автоматического контроля топологии и проведена их классификация, а также разработаны метод выбора способа контроля, метод совмещения изображений, алгоритмы быстрой обработки изображений в реальном масштабе времени.

Кроме теоретических разработок вклад соискателя заключается в его непосредственном участии в разработке ряда установок автоматического контроля оригиналов топологии СБИС: ЭМ-6029, ЭМ-6429 - в качестве заместителя руководителя темы по системам управления и обработки информации, а ЭМ-6029А, ЭМ-6029АМ, ЭМ-6029Б, ЭМ-6329 - в качестве руководителя темы.

Апробация результатов диссертации. Материалы, вошедшие в диссертационную работу, докладывались и обсуждались на Белорусско-

польском научно-практическом семинаре «Лазерная техника и технологии», Гродно, 2000 год и на международной научно-технической конференции «Новые технологии изготовления многокристалльных модулей», Минск-Нарочь, 2000 год.

Материалы, вошедшие в диссертационную работу, докладывались и обсуждались как составная часть работы Авакова С.М., Дьяченко А.А., Карповича С.Е., Колядко Н.С., Матюшкова В.Е., Юдицкого В.А. «Создание и освоение в производстве комплекса конкурентоспособного прецизионного оборудования для изготовления высокоточных оригиналов топологии изделий электронной техники», удостоенной Государственной премии Республики Беларусь за 2000г:

- на расширенном заседании учёного совета НИИПФП им. А.Н. Севченко;
- на расширенном заседании учёного совета НИИЯП;
- на расширенном заседании учёного совета физического факультета БГУ;
- на международной научно-технической конференции «Новые технологии изготовления многокристалльных модулей» (БГУИР);
- на V международной научно-технической конференции «Современные средства связи» Минск-Нарочь 2000г.;
- в научно-производственном объединении «Интеграл»;
- в производственном объединении «Горизонт».

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 1 монография, 10 статей в научно-технических журналах, научно-технических сборниках и материалах конференций, 1 тезисы доклада в сборнике тезисов научной конференции. Общий объём опубликованных материалов составляет 679 страниц.

Структура и объём диссертации. Диссертация включает общую характеристику работы, пять глав с краткими выводами по каждой главе, заключение, список использованных источников и приложения. Полный объём диссертации составляет 154 страницы, в том числе 32 рисунка на 32 страницах, 4 таблицы на 2 страницах, 4 приложения на 38 страницах и библиография из 69 наименований на 5 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В общей характеристике работы обоснована актуальность и новизна рассматриваемой темы, сформулированы цели и основные задачи исследования, представлены основные положения диссертации, выносимые на защиту.

В *первой главе* работы проведен анализ проблемы построения оборудования для автоматического контроля топологии планарных структур. В частности определено, что при укрупненном рассмотрении установка автоматического контроля топологии планарных структур может быть представлена состоящей из трёх основных систем:

- прецизионной координатной системы с системой совмещения;
- системы формирования эталонного изображения;
- системы формирования реального изображения и обработки информации о дефектах.

Первые две из этих систем (за исключением системы совмещения) аналогичны подобным системам в других видах спецтехнологического оборудования, а третья - является специфической для данного класса установок. Проведен анализ влияния характеристик оборудования для автоматического контроля топологии планарных структур СБИС на объёмно-временные характеристики системы обработки реального изображения. На этой основе сформулированы проблемы, которые необходимо решить для построения подобного оборудования:

1. Произвести классификацию способов (методов) автоматического контроля топологии и разработать метод выбора способа контроля в зависимости от характеристик контролируемого объекта и условий контроля.
2. Разработать специализированные алгоритмы анализа и обработки дефектов (выделения контура, определения связности и классификации дефектов), позволяющие обеспечить производительность, достаточную для решения этих задач в режиме реального времени.
3. Разработать метод совмещения реального и эталонного изображений.
4. Реализовать разработанные методы и алгоритмы при создании установки автоматического контроля топологии СБИС.

Далее, на основании анализа материалов периодической литературы, результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, кратко приводится состояние дел по вышеперечисленным проблемам.

Во второй главе приводится двухступенчатая классификация методов (способов) автоматического контроля топологии планарных структур, разработанная на основании анализа существующего в нашей стране и за рубежом оборудования. Первая ступень классификации - разделение на методы анализа параметров топологии и методы сравнения с эталоном, вторая ступень - различна для каждой из двух групп. Для методов анализа топологии - метод группового анализа элементов рисунка, метод индивидуального анализа элементов рисунка, метод анализа критериев корректности элементов рисунка, формируемых в процессе обучения. Для методов сравнения с эталоном - метод сравнения с проектными данными, метод сравнения изображений одинаковых модулей, метод сравнения

изображений мультиплицированных фрагментов, метод сравнения двух изображений одного рисунка, полученных разными оптическими способами.

Далее приводится описание предложенного метода выбора способа автоматического контроля топологии планарных структур, который состоит в следующем. На основе проведенного анализа выделяется набор факторов, которые необходимо учитывать при выборе метода автоматического контроля топологии планарных структур:

- множество типов дефектов, подлежащих автоматическому контролю M ;
- размер минимального обнаруживаемого дефекта для изолированных дефектов S_i ;
- размер минимального обнаруживаемого дефекта для прилегающих дефектов S_{ij} ;
- допуск на положение (координаты) элементов топологии, их размеры и неровность края S_{kr} ;
- возможная точность совмещения координатных систем сравниваемых изображений ΔK ;
- контраст изображения контролируемого оригинала в виде длины перехода темное/светлое в бинаризованной или полутоновой модели L ;
- размер минимального элемента топологии R .

Искомый метод (способ) автоматического контроля представляется в виде дискретной функции от семи переменных:

$$F = f(M, \Delta K, S_i, S_{ij}, S_{kr}, L, R) \quad (1)$$

Далее приводится алгоритм вычисления этой функции и блок-схема алгоритма выбора метода автоматического контроля топологии планарных структур.

В третьей главе рассмотрена задача анализа бинарных моделей дефектных участков топологии. Предлагается метод определения связности дефектов и реализующие его алгоритмы. Метод состоит в применении алгоритма выделения контуров изображений с параллельной обработкой группы элементов разложения без предварительной сегментации и применении автоматного преобразования для получения координатного описания связных контуров. Предлагаемые алгоритмы позволяют выделить контура и получить координатное описание связных участков дефектной топологии. Далее приводятся установленные условия, определяющие взаимное расположение топологических объектов при помощи простейших арифметических операций над их проекциями, что позволяет создавать алгоритмы классификации дефектов в реальном масштабе времени.

Рассматриваемые задачи сводятся к двум задачам классификации:

- а) по информации о несовпадениях реального и эталонного изображений, представленной в виде бинарной модели, выделить связные участки дефектной топологии и получить их координатное описание;

б) по координатному описанию связанных участков дефектной топологии и по координатному описанию эталонной топологии определить тип дефекта - изолированный, прилегающий, внутренний.

Каждая из этих задач формулируется следующим образом:

Дано множество M объектов, относительно которых проводится классификация. Известно, что множество M представимо в виде суммы подмножеств K_1, K_2, \dots, K_N , называемых, обычно, классами. Заданы информация I о классах K_1, K_2, \dots, K_N , описание множества M и описание $I(S)$ объекта S , о котором, вообще говоря, не известно, к каким из классов K_1, K_2, \dots, K_N он принадлежит. Требуется по информации I , описанию $I(S)$ установить для каждого j значение свойства $S \in K_j$, где $j = 1, 2, \dots, N$.

Для задачи «а» множество M объектов, относительно которых проводится классификация, а также информация $I(S)$ об этих объектах задается двоичными матрицами размерности $16 \cdot 16$, каждый бит которых соответствует одному элементу разложения изображения S_i . Информация I о классах задается при помощи следующего критерия связности:

- два объекта принадлежат одному классу в том и только в том случае, если координаты их по одной оси совпадают, а по другой - отличаются на единицу по обеим координатам. Количество классов K_j для каждой матрицы неизвестно и может изменяться в пределах от 0 до 64.

Каждый объект S_i может принадлежать только одному из классов, т.е. выполняется условие ортогональности классов $K_i \cap K_j = \emptyset$ для всех $i \neq j$.

Для задачи «б» множество M классифицируемых объектов представляет собой совокупность координатных описаний связанных зон дефектной топологии S_i . Информация I о классах задается путем определения трех вышеописанных типов дефектов - изолированных, прилегающих и внутренних. Количество классов фиксировано и равно трем. Как и в предыдущей задаче классы ортогональны.

Предлагаемые алгоритмы выделения контура и определения связности представляют собой сочетание структурного и логического подходов. Задача решается в два этапа. На первом этапе при помощи логических операций над группами элементов топологии, поступающих на вход алгоритма, производится выделение контуров этих элементов, а на втором - выполняется структурный анализ полученных контурных объектов.

Исходная информация поступает в виде матриц бинарного описания дефектных фрагментов топологии (площадных объектов) X_n . Каждая из этих матриц состоит из 16 двухбайтных слов и обрабатывается пословно. Каждое входное слово соответствует строке X_i ($i = 1, 2, \dots, 16$) матрицы X_n . Формирование контура (рис. 1.) производится следующим образом.

Матрица X_n транспонируется, в результате чего получается матрица Y_n , содержащая изображение, повернутое на угол 90° . После этого над каждой строкой матриц X_n и Y_n производятся преобразования по следующим

формулам:

$$X_{k''}^i = X_{n''}^{i-1} \ominus X_{n''}^i, \quad Y_{k''}^i = Y_{n''}^{i-1} \ominus Y_{n''}^i, \quad (2)$$

где $i = 1, 2, \dots, 16$, а $X_{n''}^0, Y_{n''}^0$ - строки нулей.

$$X_{k'}^j = X_{n'}^{j+1} \ominus X_{n'}^j, \quad Y_{k'}^j = Y_{n'}^{j+1} \ominus Y_{n'}^j, \quad (3)$$

где $j = 1, 2, \dots, 16$, а $X_{n'}^{17}, Y_{n'}^{17}$ - строки нулей.

Символ « \ominus » обозначает некоммутативную логическую операцию запрета: $X_1 \ominus X_2 = \overline{X_1 \cap X_2}$ (4)

Полученные матрицы Xk'' , Xk' и Yk'' , Yk' содержат левые, правые, верхние и нижние огибающие фигур матриц X_n и Y_n соответственно.

Строки матриц Xk , Yk - контурных объектов - получаются путем покомпонентного (по строкам) объединения матриц :

$$Xk = Xk'' \cup Xk' \quad \text{и} \quad Yk = Yk'' \cup Yk'. \quad (5)$$

Полученная матрица Xk содержит огибающие связных зон несовпадений, за исключением составляющих, параллельных координатной оси X . Матрица Yk содержит огибающие контуров связных зон несовпадений, за исключением составляющих, параллельных координатной оси Y . После этого производится поэлементное объединение матрицы Xk с предварительно обратнотранспанированной матрицей Yk , в результате чего формируется матрица Xok , содержащая полные огибающие контуров связных зон несовпадений. Последовательность матриц Xok поступает на вход конечного автомата, анализирующего связность контурных объектов, содержащихся в них. На выходе автомата формируется последовательность координатных описаний связных зон дефектной топологии, согласно вышеприведенному критерию связности. Автоматное отображение применяется последовательно ко всем связным контурам матрицы Xok . Для каждого из объектов в качестве промежуточного результата получается матрица узловых точек $X_{ут}$, из которой искомый массив координат узловых точек ломаной формируется по формуле:

$$X_k = i \times X_{ут}^i; \quad Y_k = j \times X_{ут}^j, \quad (6)$$

где X_k , Y_k - координаты k -й точки связной зоны дефектного участка топологии; $X_{ут}^i$ - элементы матрицы $X_{ут}$ i -й строки j -го столбца.

Предлагаемый алгоритм, классификации дефектов предназначен для решения данной задачи в режиме реального времени. Он не содержит тригонометрических или иных, сложных с вычислительной точки зрения, операций – используются только сложение и вычитание. Существенным ограничением при решении данной задачи является также и то, что эталонное описание топологии представляется в виде совокупности прямоугольников и треугольников, ориентированных по отношению к координатным осям под углами, кратными 45° . Задача сводится к определению отношений между, с одной стороны, точками произвольных топологических фигур (дефектных зон топологии), а с другой - прямоугольниками и треугольниками, повернутыми на угол, кратный 45° по

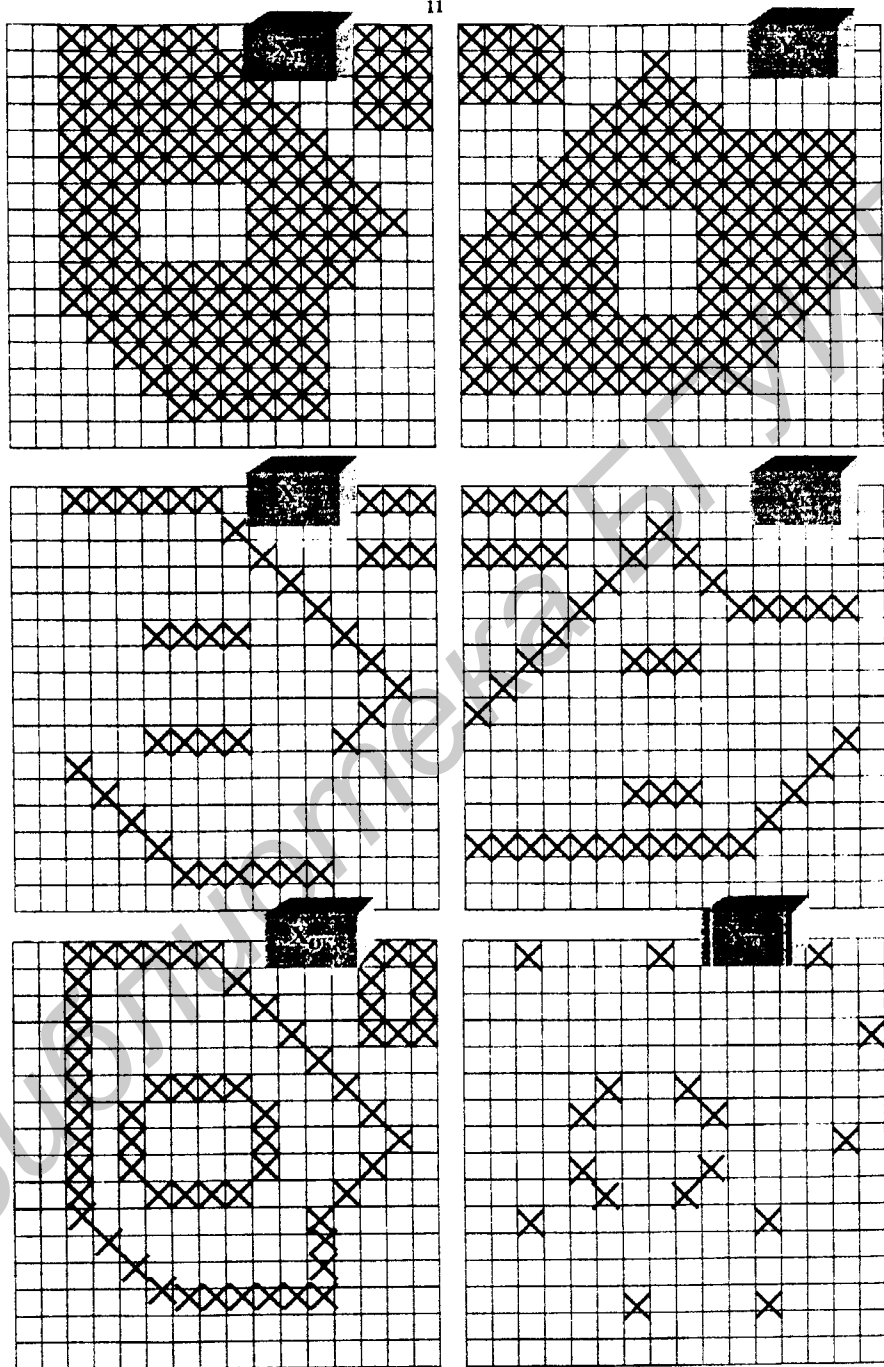


Рис. 1. Формирование контура.

отношению к координатным осям. В работе представлен набор из трёх теорем, позволяющих определить эти соотношения таким образом, что алгоритм классификации сводится к выполнению набора элементарных арифметических и логических операций над заданными проекциями этих дефектов

Особое внимание в работе уделено групповому анализу дефектов. При контроле топологии возникают ситуации, когда один физический объект воспринимается как множество более мелких, не связанных между собой объектов. Наиболее остро данная проблема проявляется при наличии групповых дефектов, каждый из которых в отдельности, не являясь критичным, в совокупности с другими порождает критичный дефект за счёт эффекта оптической близости. Задача обнаружения и корректного распознавания подобных дефектов является важной с точки зрения достижения адекватности контроля в, так называемом, режиме «виртуального мультимпликатора». Следует отметить, что если не точная идентификация полупрозрачных дефектов приводит, как правило, только к увеличению времени контроля, то пропуск дефектов второго типа приводит к катастрофическим последствиям. Алгоритм решения данной задачи основан на обобщении понятия критерия связности (КС), который позволяет перейти от обработки множества объектов к обработке одного объекта. При этом выделение контура производится путем многоступенчатого применения функции запрета с «накоплением».

В четвёртой главе приводится описание метода совмещения, разработанного для обеспечения устойчивости процесса автоматического контроля топологии. Метод состоит в комплексном использовании систем компенсации погрешностей как со статическим, так и с динамическим измерением величины рассовмещения изображений, с возможностью параллельного маскирования несовпадений на краях элементов. Согласно предложенному методу система совмещения строится из трёх составляющих – процедуры привязки координатной системы, системы динамического автосовмещения и системы маскирования краевых несовпадений.

Привязка координатной системы осуществляется при помощи измерения координат трёх или более реперных знаков до начала процесса автоматического контроля и формирования поправок, характеризующих смещение центра координатной системы установки относительно центра координатной системы шаблона, изменение масштаба по обеим координатным осям и неперпендикулярность реальной координатной системы. Эти поправки используются в дальнейшем при управлении всеми перемещениями координатного стола установки до перезагрузки шаблона.

Система динамического автосовмещения представляет собой многоканальный компаратор, вычисляющий на каждом шаге сканирования контролируемого объекта интегральную характеристику несовпадений

реального и эталонного изображений по заданной площади. При этом моделируются девять различных вариантов совмещения изображений из которых выбирается вариант с минимумом несовпадений, за счёт чего и достигается оптимальное совмещение.

Система маскирования краевых несовпадений представляет собой аппаратную систему распознавания края элемента, которая формирует сигналы запрета компарирования изображений на расстоянии ± 1 или ± 2 элемента разложения (пиксела) относительно эталонного края элемента, что позволяет скомпенсировать неровность края элементов топологии, ошибки фотометрирования на краях элементов, допустимые уходы размеров и координат элементов топологии.

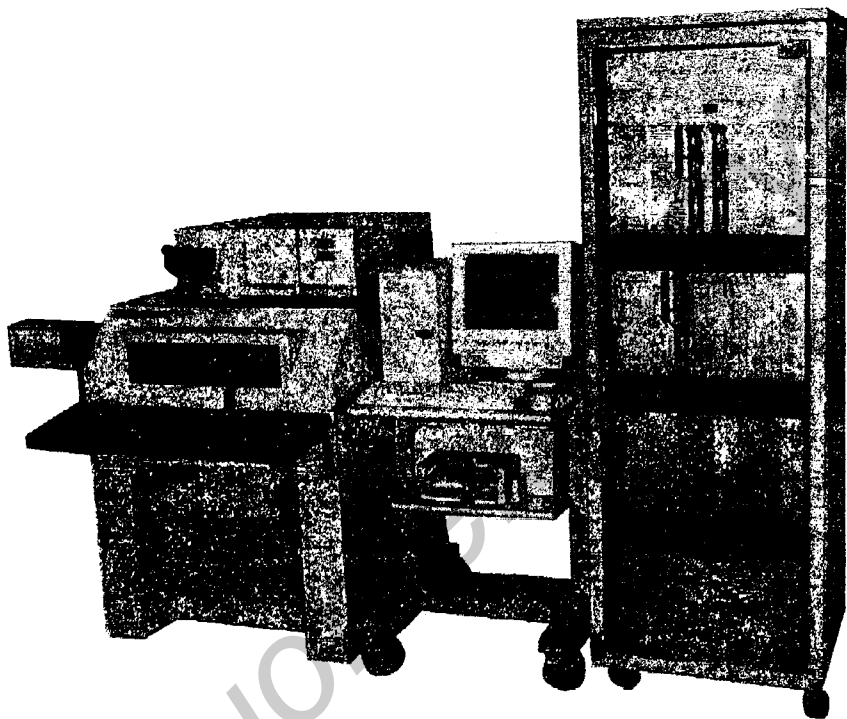
Комплексное применение этих систем позволяет получить устойчивость процесса автоматического контроля топологии в достаточно широком диапазоне рассовмещений (до 8 элементов разложения).

В *пятой главе* приводится описание практической реализации предложенных в работе методов и алгоритмов при создании оборудования для автоматического контроля оригиналов топологии планарных структур СБИС на фотошаблонах. Две из созданных установок – ЭМ-6029АМ и ЭМ-6029Б (рис.2) разработаны, внедрены и выпускаются единичными образцами. Разработка третьей установки - ЭМ-6329 к настоящему времени ещё не завершена, хотя конструкторская документация уже разработана.

Установки ЭМ-6029Б и ЭМ-6329 предназначены для автоматического обнаружения дефектов оригиналов топологии на фотошаблонах, используемых для производства интегральных микросхем при 4^x и 5^x проекционном переносе изображений на полупроводниковые пластины и позволяют контролировать оригиналы топологий приборов, спроектированных с топологической нормой до 0,35 и 0,18мкм соответственно. Эти установки могут использоваться для автоматического контроля топологии, практически, на всех стадиях технологического процесса изготовления фотошаблонов СБИС – для контроля первичных, промежуточных и рабочих шаблонов, а также шаблонов, защищённых пелликлами. Из приведенной в работе таблицы сравнения установок ЭМ-6029Б и ЭМ-6329 с аналогами видно, что эти установки находятся на уровне лучших мировых образцов.

Далее отмечается, что достижение требуемого быстродействия при автоматическом контроле топологии с заданной обнаружительной способностью стало возможно благодаря следующим факторам:

- использованию представленных в работе методов и алгоритмов обработки информации об изображении планарных структур;
- непосредственному использованию системы прерываний BIOS и DOS для управления механизмами в реальном масштабе времени.



Установка автоматического контроля топологии фотошаблонов

Рис.2. ЭМ-6029Б

В данной главе приводятся также результаты исследования показателей назначения работанных установок - график зависимости вероятности обнаружения дефектов от их размеров и площади, а также графики зависимости требуемого быстродействия алгоритмов обработки информации о дефектах от порога обнаружения для различных уровней производительности автоматического контроля топологии, позволяющие оценить границы использования предлагаемых методов и алгоритмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с поставленной целью и задачами в диссертации выполнено комплексное исследование по разработке методов и алгоритмов для реализации процедуры автоматического контроля топологии планарных структур. Основные научные и практические результаты работы могут быть сформулированы в следующем виде:

1. На основе проведенной классификации впервые разработан метод выбора способа автоматического контроля топологии планарных структур, обеспечивающий корректный выбор на этапе эскизного проектирования оборудования для заданных условий контроля. Разработанная классификация методов автоматического контроля топологии и метод выбора способа, основаны на анализе существующего и разрабатываемого отечественного и зарубежного оборудования, а также на анализе перспективных задач автоматического контроля топологии. Разработанный метод, позволяет в зависимости от характеристик контролируемых объектов и условий контроля топологии выбрать группу способов контроля и конкретный способ внутри группы. Этот метод был применен при эскизном проектировании установок ЭМ-6029АМ, ЭМ-6029Б, ЭМ-6329, ЭМ-6429 [2].

2. Разработанный новый метод выделения контуров и определения связности дефектных участков топологии с параллельной обработкой групп элементов разложения изображения без предварительной сегментации и реализующие его быстродействующие алгоритмы позволяют решать задачи анализа одиночных и групповых дефектов в реальном масштабе времени. Этот метод и алгоритмы были использованы при разработке установок ЭМ-6029А, ЭМ-6029АМ, ЭМ-6029Б, ЭМ-6329. При анализе быстродействия полученных алгоритмов испытания производились на установке ЭМ-6029Б на последовательности сегментов топологии размером 512x1024 пикселей. Устройством синхронизации установки был задан временной цикл обработки сегмента равный 42 мсек. Таким образом, скорость отработки алгоритмов была не хуже $0,5/0,042 = 11,9$ мегапикселей в секунду. В дальнейшем этот результат был подтвержден на нескольких сотнях топологий. Исследования, проведенные в рамках эскизного и рабочего

проектирования установки ЭМ-6329 свидетельствуют, что реализация предложенных алгоритмов на современных промышленных ЭВМ позволит получить быстродействие порядка 100 мегапикселей в секунду, что является достаточным для создания установки автоматического контроля топологии планарных структур СБИС на 4^x и 5^x фотошаблонах для изделий, спроектированных по технологии до 0,18 мкм [3,4,6,7,11,12].

3. Установлены закономерности, определяющие взаимное расположение топологических объектов при помощи простейших арифметических и логических операций над их проекциями, что позволяет решать задачу классификации дефектов в реальном масштабе времени при автоматическом контроле топологии 4^x и 5^x шаблонов СБИС с проектными нормами до 0,35 мкм [3]. Сформулированные необходимые и достаточные условия позволяют определить отношения включения для произвольной точки и базового набора топологических фигур, что представляет набор процедур для формирования алгоритмов классификации дефектов. Алгоритм классификации дефектов при этом представляет собой последовательность простейших арифметических операций, что позволяет получить высокое быстродействие при определении типов дефектов, достаточное чтобы перенести решение данной задачи в режим реального времени. Созданная алгоритмическая основа использована для построения быстродействующих алгоритмов классификации дефектов при проектировании установок ЭМ-6029А, ЭМ-6029АМ, ЭМ-6029Б [3].

4. Предложен и разработан новый метод совмещения изображений, реализующий компенсацию статически и динамически определяемых погрешностей с маскированием краевых несовпадений, обеспечивающий устойчивость процесса автоматического контроля топологии планарных структур в диапазоне рассовмещений до восьми элементов разложения. Этот метод использован при создании установок ЭМ-6029А, ЭМ-6029АМ, ЭМ-6029Б, ЭМ-6329. [2, 7].

5. На основании полученных результатов разработаны и внедрены в производство две модели установок – ЭМ-6029АМ и ЭМ-6029Б, обеспечивающие возможность проведения автоматического контроля топологии планарных структур СБИС на фотошаблонах для изделий с проектными нормами до 0,35 мкм. На территории стран СНГ установки такого класса созданы впервые. Образцы установок проданы в дальнее и ближнее зарубежье. Объем валютных поступлений составил 1,1 млн., а объем импортозамещения - 1,6 млн. долларов США. Разработана перспективная модель установки ЭМ-6329, предназначенная для автоматического контроля топологии планарных структур СБИС на 4^x и 5^x фотошаблонах для изделий, спроектированных с проектными нормами до 0,18 мкм. По научно-техническому уровню эти установки соответствуют лучшим зарубежным аналогам. [7-13].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии:

1. Карпович С.Е., Матюшков В.Е., Аваков С.М. Построение математических моделей автоматизированного проектирования прецизионного оптико-механического оборудования для электронного машиностроения. - Минск: НПО «Интеграл», 2000. – 124с.

Статьи, материалы конференций:

2. Аваков С.М. Методы автоматического контроля топологии планарных структур в микроэлектронике // Известия Белорусской инженерной академии. – 1998. - №2(6). – С. 75-80.

3. Аваков С.М. Алгоритм распознавания дефектных зон топологии (для задач электронного машиностроения) // Известия Белорусской инженерной академии. – 1998. - №1(5). – С. 52-57.

4. Аваков С.М. Алгоритм определения связности групповых и полупрозрачных дефектов при автоматическом контроле оригиналов топологии СБИС // Мехатроника и современная механика: Сб. научных статей / Под ред. С.Е. Карповича. - Минск: БГУИР, 2001. – С. 102-105.

5. Аваков С.М. Логический синтез алгоритма управления транспортными операциями участка станков с автоматизированным складом // Автоматизация управления в приборостроении и машиностроении на базе СМ ЭВМ и микро-ЭВМ: Сб. научных трудов / Под ред. Р.С. Седегова.- Минск: ЦНИИТУ, 1983. – С. 70-77.

6. Аваков С.М. Настройка операционной среды в системах DOS // Библиотека информационной технологии: Сб. научных трудов / Под ред. Г.Р. Громова.- М.: ИнфоАрт., 1991. – Вып. 2. – С. 5-107.

7. Аваков С.М. Организация диалога с оператором в системах DOS // Библиотека информационной технологии: Сб. научных трудов / Под ред. Г.Р. Громова. - М.: ИнфоАрт., 1991.- Вып. 3. - С. 5-147.

8. Аваков С.М. Системные функции DOS // Библиотека информационной технологии: Сб. научных трудов / Под ред. Г.Р. Громова. - М.: ИнфоАрт., 1992.- Вып. 4. – С. 3-98, Вып. 5. - С. 3-89, Вып. 6. - С. 3-42, Вып.7.- С. 3-56.

9. Аваков С.М. Идентификация групп дефектов планарных структур // Известия Белорусской инженерной академии. – 2001. - №1(11)/3. – С. 158-160.

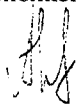
10. Матюшков В.Е., Карпович С.Е., Аваков С.М. Комплект оборудования для бездефектного изготовления оригиналов топологий ИС и ГИС // Материалы международной НТК «Новые технологии изготовления многокристалльных модулей». Минск-Нарочь, 25-29 сентября 2000. – С. 146.

11. Аваков С.М., Карпович С.Е., Матюшков В.Е. Комплект оборудования для бездефектного изготовления оригиналов топологий СБИС

и БИС // Известия Белорусской инженерной академии. – 2001. - №1(11)/3. – С. 194-195.

Тезисы докладов:

12. Матюшков В.Е., Аваков С.М. Лазерные технологии и оборудование в производстве изделий радиоэлектроники // Белорусско-польский научно-практический семинар: Тез. докл. Лазерная техника и технологии / ГКНТ РБ, Комитет по научным исследованиям Республики Польша, Гродненский исполком. – Гродно, 2000. – С. 3-4.



РЭЗІЮМЭ

Авакаў Сяргей Мірзоевіч

Метады аўтаматычнага кантролю тапалогіі планарных структур і іх рэалізацыя у электронным машынабудаўніцтве

Ключавыя словы: мікраэлектроніка, прэцызійнае тэхналагічнае абсталяванне, аўтаматычны кантроль тапалогіі, планарныя структуры, электроннае машынабудаўніцтва, фарміраванне контура, вызначэнне звязнасці, класіфікацыя дэфектаў.

Аб'ектам даследавання з'яўляецца абсталяванне для аўтаматычнага кантролю арыгіналаў тапалогіі вырабаў электроннай тэхнікі.

Прадметам даследавання з'яўляюцца метады і алгарытмы апрацоўкі інфармацыі пры пабудове абсталявання для аўтаматычнага кантролю арыгіналаў тапалогіі вырабаў электроннай тэхнікі.

Мэтай гэтай працы з'явілася распрацоўка метадыкі выбара метада аўтаматычнага кантролю тапалогіі і стварэнне алгарытмічнай асновы для хуткай апрацоўкі відарысаў планарных структур пры аўтаматычным кантролі тапалогіі ЗВІС (звышвялікія інтэгральныя схемы), а таксама практычная рэалізацыя на гэтай базе устаноўкі аўтаматычнага кантролю арыгіналаў тапалогіі ЗВІС.

Выканана комплекснае даследаванне па распрацоўке метадыкі і алгарытмаў для рэалізацыі працэдуры аўтаматычнага кантролю арыгіналаў тапалогіі у рэальным маштабе часу. На аснове праведзенай класіфікацыі ўпершыню распрацавана метадыка выбара метада аўтаматычнага кантролю тапалогіі планарных структур, прызначаная для выкарыстання на этапе эскізнага праектавання абсталявання. Распрацаваны хуткадзейныя алгарытмы выдзялення контура і вызначэння звязнасці дэфектных участкаў тапалогіі з элементамі паралельнай апрацоўкі, дазваляючыя рашаць задачы распазнавання дэфектаў арыгіналаў тапалогіі у рэальным маштабе часу. Распрацаваны новы метады савмяшчэння відарысаў.

На падставе вынікаў, атрыманых у дысертацыйнай працы распрацаваны і укаранены у вытворчасць дзве мадэлі устаноўак аўтаматычнага кантролю арыгіналаў тапалогіі ЗВІС, распрацавана перспектыўная мадэль устаноўкі аўтаматычнага кантролю арыгіналаў тапалогіі ЗВІС, якія па навукова-тэхнічнаму узроўню адпавядаюць лепшым замежным аналагам. Узоры устаноўак праданія у далёкае і блізкае замежжа.

РЕЗЮМЕ

Аваков Сергей Мирзоевич

Методы автоматического контроля топологии планарных структур и их реализация в электронном машиностроении

Ключевые слова: микроэлектроника, прецизионное технологическое оборудование, автоматический контроль топологии, планарные структуры, электронное машиностроение, формирование контура, определение связности, классификация дефектов.

Объектом исследования является оборудование для автоматического контроля оригиналов топологии изделий электронной техники.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы обработки информации о топологии при построении оборудования для автоматического контроля топологии изделий электронной техники.

Целью настоящей работы явилась разработка метода выбора способа автоматического контроля топологии и создание алгоритмической основы для быстрой обработки изображений планарных структур при автоматическом контроле топологии изделий электронной техники, а также практическая реализация на этой базе установки автоматического контроля оригиналов топологии СБИС.

Выполнено комплексное исследование по разработке методов и алгоритмов для реализации процедуры автоматического контроля оригиналов топологии в реальном масштабе времени. На основе проведенной классификации впервые разработан метод выбора способа автоматического контроля топологии планарных структур. Разработаны быстродействующие алгоритмы выделения контура и определения связности дефектных участков топологии с элементами параллельной обработки, позволяющие решать задачи распознавания дефектов оригиналов топологии в реальном масштабе времени. Разработаны алгоритмы обработки групповых и полупрозрачных дефектов. Сформулирован и доказан набор теорем, формализующих процедуру классификации дефектов в реальном масштабе времени. Разработан новый метод совмещения изображений.

На основании результатов, полученных в диссертационной работе разработаны и внедрены в производство две модели установок автоматического контроля оригиналов топологии СБИС, разработана перспективная модель установки автоматического контроля оригиналов топологии СБИС, по научно-техническому уровню соответствующие лучшим зарубежным аналогам. Образцы установок проданы в дальнейшем и ближнее зарубежье.

SUMMARY

Serguej M. Avakow

Technique of automatic inspection of planar structure layouts and their realization in electronic machine building

Keywords: microelectronics, precision process equipment, layout automatic inspection, planar structures, electronic machine building, forming of profiles, determination of connectivity, classification of defects.

An object of research is equipment for automatic inspection of layout masters for electronics products.

A subject of research is a technique and algorithms for information processing when building equipment for automatic inspection of layouts of electronics products.

This work was aimed at a development of the technique selection methods for the layout automatic inspection and creation of an algorithmic basis for fast planar structure image processing during VLSI layout automatic inspection, as well as a practical realization on this basis of a VLSI masters layout automatic inspection system.

A complex research was conducted for the development of a technique and algorithms for the realization of the master layout automatic inspection in real time. Based on the obtained classification, for the first time methods were developed for the selection of a technique for the planar structure layout automatic inspection used at a stage of the equipment preliminary design.

Fast acting algorithms were developed for the profile forming and determination of connectivity of the layout defect areas with elements of parallel processing enabling to solve problems of identification master layout defects in real time. Algorithms were developed for group and semi-transparent defects. A set of theorems was defined and proved, which formalized a defect classification procedure in real time. A new method of alignment of images was developed.

Based on the results obtained in a dissertation work, two models of the system were developed and introduced for the VLSI masters layout automatic inspection, also developed was a promising model for the VLSI masters layout automatic inspection, which is on par with best foreign analogs in respect of the scientific and technological level. The prototypes of the machines were sold to the neighboring and overseas customers.

Аваков Сергей Мирзоевич

**Методы автоматического контроля топологии
планарных структур и их реализация в электронном
машиностроении**

Специальность 05.27.06 - «Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

**Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук**

Подписано в печать 05.04.2002. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная.
Печать ризографическая. Усл. печ. л. 1,63. Уч.- изд. л. 1,4. Тираж 90 экз. Заказ 232.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»
Лицензия ЛП № 156 от 05.02.2001.
Лицензия ЛВ № 509 от 03.08.2001.
220013, Минск, П. Бровки, 6.