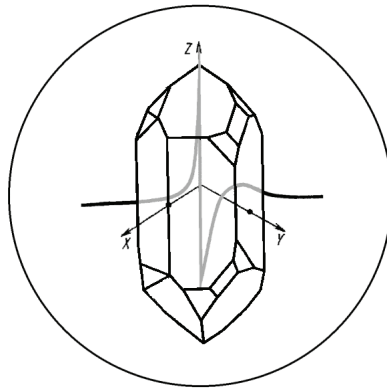


РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



# ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Материалы Международной научно-технической  
конференции «INTERMATIC – 2012»  
3 – 7 декабря 2012 г., Москва

Под редакцией  
академика РАН А.С. Сизова

Часть 3

Москва – 2012

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ  
ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО  
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Материалы Международной научно-технической  
конференции «INTERMATIC – 2012»  
3 – 7 декабря 2012 г., Москва

Под редакцией  
академика РАН А.С. Сизова

Часть 3

FUNDAMENTAL PROBLEMS  
OF RADIOENGINEERING AND DEVICE  
CONSTRUCTION

Proceedings of the International Scientific and  
Technical Conference « INTERMATIC – 2012»  
December 3 – 7, 2012, Moscow

Edited by A. Sigov

Part 3

Москва - 2012

УДК 539.1: 621.315.5: 621.382:

**Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения** / Материалы Международной научно – технической конференции «INTERMATIC – 2012», 3–7 декабря 2012 г., Москва. / Под ред. академика РАН А.С. Сигова. – М.: МГТУ МИРЭА – ИРЭ РАН, 2012, часть 3. – 171 с.

**ISBN978-5-7339-0944-8**

В настоящий сборник включены материалы Международной НТК INTERMATIC – 2012, отражающие новые результаты научных и инженерных исследований в области радиоматериалов и технологий.

Сборник рассчитан на специалистов в области физической электроники и технологии радиоэлектронного приборостроения. Он также может быть использован преподавателями, аспирантами и студентами при изучении соответствующих курсов.

В настоящий сборник также включены соответствующие теме материалы IV Всероссийской научно – технической школы – конференции молодых ученых «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения», 4 – 6 декабря 2012 г., Москва.

Выполнено при финансовой поддержке РФФИ

**Редакционная коллегия:**

Ю.В. Гуляев (председатель), А.С. Аджемов, К.А. Воротилов,  
П.А. Лучников, А.И. Морозов, С.А. Никитов, В.Г. Орлов,  
А.С. Сигов (ответственный редактор)

**Научное издание**

Редактор – *А.П. Лучников*  
Компьютерная верстка - *Д.С. Серегин*

Подписано в печать с оригинал-макета 26.11.2012 г.  
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Усл. печ.л. 19,23. Уч. Изд. Л. 21,63.  
Тираж 150 экз.

РИО МГТУ МИРЭА. 119454, Москва, пр. Вернадского 78.  
Отпечатано в типографии ООО «Галлея-Принт»

**ISBN978-5-7339-0944-8**

© МГТУ МИРЭА, ИРЭ РАН, 2012

***ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:***

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**

**РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

**ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ РАН  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ  
И АВТОМАТИКИ**

**МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ  
И ИНФОРМАТИКИ**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

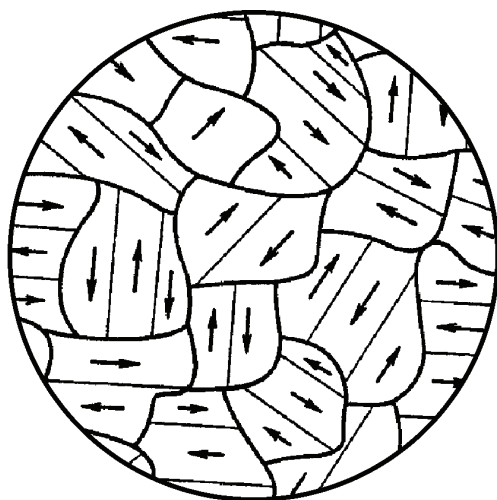
***ПРИ УЧАСТИИ:***

**РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК  
ЖУРНАЛА «НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОСТРУКТУРЫ»**

**ЖУРНАЛА «НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

**ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК НАУКИ СИБИРИ»**

**ЖУРНАЛА «РАДИОТЕХНИКА»**



# Материалы и технологии

## СНИЖЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОННОГО ПРОИЗВОДСТВА В СВЕРХВЫСОКОВАКУУМНОМ МОДУЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ

© 2012 г. С.В. СТЕПАНЧИКОВ

Московский государственный институт электроники и математики  
(технический университет)  
e-mail: ienmiem@mail.ru

Сформулируем принцип создания системы снижения загрязнений построенный на основе анализа источников генерации микрочастиц, привносимых на обрабатываемые объекты в сверхвысоковакуумном модульном оборудовании [1], и анализа факторов, влияющих на них.

Первый уровень системы представляет собой подсистему уменьшения количества генерируемых микрочастиц и их локализацию в узлах генерации.

Второй уровень системы представляет собой подсистему уменьшения количества микрочастиц и их локализацию в объеме вакуумной камеры, включая устройства очистки вакуумных камер от микрочастиц.

Третий уровень системы представляет собой подсистему защиты обрабатываемых объектов от микрочастиц в зоне их размещения.

Многоуровневая система снижения загрязнений отражает системный подход в решении поставленных задач и является рациональной и экономически оправданной.

Каждая из подсистем может использоваться самостоятельно или в сочетании с другими подсистемами. Критериями целесообразности комплексного использования трех уровней одновременно, является их совместимость и достаточность для решения задач снижения уровня привносимых загрязнений микрочастицами до предельно допустимого значения.

Многоуровневая система не только максимально обеспечивает решение совокупности задач на ближайшую перспективу, но и оптимизирует использование промежуточных результатов различных этапов работы. Например, создание методов и средств уменьшения количества микрочастиц и их локализацию в узлах генерации позволяет предусмотреть на ранних этапах проектирования новых типов сверхвысоковакуумного оборудования, максимальную унификацию функциональных элементов.

Эффективность защиты на каждом из трех уровней характеризуем коэффициентами защиты от загрязнений микрочастицами соответственно:

$$K_{3,1} = \frac{N}{N'}, \quad (1)$$

$$K_{3,II} = \frac{N_V}{N'_V}, \quad (2)$$

$$K_{3,III} = \frac{N_{\Pi}}{N'_{\Pi}}, \quad (3)$$

где  $N$  – среднее количество микрочастиц, генерируемых из узла в единицу времени, без защиты на первом уровне;

$N'$  – среднее количество микрочастиц, генерируемых из узла в единицу времени, с применением подсистемы защиты на первом уровне;

$N_V$  – среднее количество микрочастиц в объеме вакуумной камеры без защиты на втором уровне;

$N'_V$  – среднее количество микрочастиц в объеме вакуумной камеры с применением подсистемы защиты на втором уровне;

$N_{\Pi}$  – среднее количество микрочастиц, попавших на единицу поверхности пластины в единицу времени без защиты на третьем уровне;

$N'_\Pi$  – среднее количество микрочастиц, попавших на единицу поверхности пластины в единицу времени с применением подсистемы защиты на третьем уровне.

Организация трехуровневой системы и порядок её реализации в сверхвысоковакуумном оборудовании обеспечивает эффективное снижение уровня загрязнений до предельно допустимого и позволяет повысить выход годных изделий.

В общем случае выход годных изделий равен:

$$F = F_{\Pi} \cdot F_K \cdot F_C \cdot F_{И}, \quad (4)$$

где  $F_{\Pi}$  – выход годных пластин, равный отношению годных пластин к числу обработанных пластин;

$F_K$  – выход годных кристаллов, равный отношению годных кристаллов к числу обработанных кристаллов;

$F_C$  – выход годных изделий после сборки;

$F_{И}$  – выход годных изделий после окончательных испытаний.

Выход годных изделий является функцией структуры прибора, проектных норм, качества технологического оборудования, чистоты среды, числа привносимых дефектов, размеров изделий и плотности упаковки. Поэтому, в общем случае, трудно предсказать характер изменения выхода годных, однако воздействие отдельных факторов может быть проанализировано.

Общее выражение для выхода годных имеет вид

$$F = F_{\text{доп.}} \cdot F_{\text{деф.}}, \quad (5)$$

где  $F_{\text{доп.}}$  – выход годных с учетом допусков и возможностей оборудования и технологического процесса;

$F_{\text{деф.}}$  – выход годных с учетом привносимых дефектов.

Оценку выхода годных  $F_{\text{деф.}}$  можно произвести используя следующее выражение [2]:

$$F_{\text{деф.}} = \frac{1}{(1 + D \cdot A)^{n_c}}, \quad (6)$$

где  $D$  – плотность привносимых дефектов, приходящиеся на один формируемый слой;

$A$  – площадь одного кристалла;

$n_c$  – число последовательно формируемых слоев.

Для пластин, обрабатываемых на технологическом оборудовании плотность привносимых дефектов можно выразить как

$$D = N_{\Pi} \cdot t, \quad (7)$$

где  $N_{\Pi}$  – среднее количество микрочастиц, попавших на единицу поверхности пластины в единицу времени;

$t$  – время работы узла генерации микрочастиц.

$$N_{\Pi} = \frac{N_V \cdot v_0}{6V_K}, \quad (8)$$

где  $N_V$  – среднее количество микрочастиц в объеме вакуумной камеры;

$v_0$  – скорость движения микрочастиц;

$V_K$  – объем вакуумной камеры.

$$N_V = N \cdot t, \quad (9)$$

где  $N$  – среднее количество микрочастиц, генерируемых из узла в единицу времени.  
Подставляя выражение (8), с учётом (9) в (7)

$$D = \frac{N \cdot t^2 \cdot v_0}{6V_k}, \quad (10)$$

и окончательно,

$$F_{\text{ДЕФ.}} = \frac{1}{\left(1 + \frac{N \cdot t^2 \cdot v_0 \cdot A}{6V_k}\right)}. \quad (11)$$

Выражение (11) позволяет оценить выход годных изделий в зависимости от количества генерируемых микрочастиц, скорости их движения, площади кристалла, объема вакуумной камеры и числа последовательно формируемых слоев на пластине.

Значения  $N$ ,  $N_v$ ,  $N_{\text{п}}$  могут быть снижены до значений  $N'$ ,  $N'_v$ ,  $N'_\text{п}$  посредством применения многоуровневой системы защиты.

Причем,

$$N'_\text{п} \leq [N_\text{п}], \quad (12)$$

где  $[N_\text{п}]$  – допустимое количество микрочастиц на единице поверхности пластины, в единицу времени, для определенного технологического процесса.

В экспериментальных исследованиях уровня загрязнений объектов полупроводникового производства в зависимости от их пространственного расположения в оборудовании использовались пластины (ТУ ЕТО.035) диаметром 100 мм. Пластины устанавливались в вакуумном объеме установки и испытывались в адекватных условиях при работающем узле генерации микрочастиц в течение 20 минут. Количество микрочастиц подсчитывалось посредством микроскопа. За нулевой уровень отсчета выбиралось среднее фоновое количество микрочастиц на поверхности пластины.

Для исследований были выбраны следующие варианты расположения контролируемой поверхности полупроводниковой пластины в сверхвысоковакуумном оборудовании:

1. Контролируемая поверхность пластины горизонтальна и направлена вверх.
2. Контролируемая поверхность пластины вертикальна.
3. Контролируемая поверхность пластины горизонтальна, направлена вверх и защищена экраном.
4. Контролируемая поверхность пластины горизонтальна и направлена вниз.
5. Контролируемая поверхность пластины горизонтальна, направлена вверх и размещена в специальном пылезащитном подложкодержателе.

Результаты экспериментальных исследований представлены в Табл. 1.

Таблица 1

№ варианта	Среднее фоновое количество микрочастиц на поверхности, $N_\Phi$	Среднее общее количество микрочастиц на поверхности, $N_\Sigma$	Количество микрочастиц принесенное на поверхность, $N_{\text{пп}} = N_\Sigma - N_\Phi$
1	11	143	132
2	10	30	20
3	12	25	13
4	12	18	6
5	11	13	2

Экспериментально установлено

$$N_2 \approx 0,2 \cdot N_1;$$

$$N_3 \approx 0,1 \cdot N_1;$$

$$N_4 \approx 0,05 \cdot N_1;$$

$$N_5 \approx 0,02 \cdot N_1,$$



где  $N_1$  – количество микрочастиц на контролируемой поверхности пластины установленной горизонтально и направленной вверх,  $N_2$  – количество микрочастиц на контролируемой поверхности пластины установленной вертикально;  $N_3$  – количество микрочастиц на контролируемой поверхности пластины, установленной горизонтально, направленной вверх и защищенной экраном;  $N_4$  – количество микрочастиц на контролируемой поверхности пластины, установленной горизонтально и направленной вниз;  $N_5$  – количество микрочастиц на контролируемой поверхности пластины, установленной горизонтально, направленной вверх и размещенной в специальном пылезащитном подложкодержателе.

Как видно из приведенных соотношений размещение пластины в пылезащитном подложкодержателе является эффективным и позволяет более чем в 50 раз снизить уровень привносимых загрязнений.

При реализации этого варианта перед загрузкой в сверхвысоковакуумное оборудование пластина устанавливается в пылезащитном подложкодержателе, и в закрытом состоянии загружается, транспортируется и хранится между операциями в оборудовании. Подложкодержатель открывается только на позициях обработки и контроля посредством специального высокоэкологичного устройства [3].

По проведенным оценкам:  $K_{3,1} \approx 100$ ;  $K_{3,2} \approx 10$ ;  $K_{3,3} \approx 50$ .

Представленные в докладе методы и средства защиты реализуют многоуровневую систему снижения загрязнений, привносимых на объекты электронного производства в сверхвысоковакуумном модульном оборудовании.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакуумное модульное оборудование для экологически чистых и ресурсосберегающих технологий: Анализ проблем. Пути решения: Монография. / *Ивашов Е.Н., Ковалев Л.К., Степанчиков С.В.* и др. – М.: Московский полиграфический дом, 1999. – 96 с.
2. Производственно-технологическая экология изделий электронной техники и организация чистых помещений. / *Каракеян В.И., Редин В.М., Ушаков В.И.* и др. Под ред. *В.И. Ушакова*. – М.: МИЭТ, 1988. – 62 с.
3. Патент РФ на изобретение № 2020190. Устройство для транспортировки подложек в вакуумной установке / *Ивашов Е.Н., Кожевников А.И., Степанчиков С.В.* Оpubл. 30.09.1994. Бюл. № 18.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Материалы и технологии</b> .....	5
1. <b>Еремкин В.В., Мараховский М.А., Панич А.Е., Смотряков В.Г.</b> Низкотемпературное спекание сегнетожесткой пьезокерамики ЦТС .....	7
2. <b>Жданова О.В., Ляхова М.Б.</b> Микромагнитные параметры орторомбических боридов кобальта и железа .....	11
3. <b>Линник А.И., Прудников А.М., Шалаев Р.В., Линник Т.А., Костыря С.А., Бурховецкий В.В.</b> Синтез наноструктурных пленок нитридов никеля. Магнитные свойства и термическая модификация .....	15
4. <b>Ефремова П.В., Педько Б.Б., Кузнецова Ю.В.</b> Влияние облучения пучком электронов SEM на реальную структуру монокристаллов ниобата лития .....	19
5. <b>Камалова Н.С., Матвеев Н.Н., Евсикова Н.Ю., Коротких Н.И.</b> Особенности поляризации в гетерогенных системах в неоднородном температурном поле .....	22
6. <b>Сенкевич С.В., Пронин И.П., Каптелов Е.Ю., Пронин В.П.</b> Изменение содержания свинца в пленках PZT в процессе высокотемпературного отжига .....	25
7. <b>Пасовец В.Н., Ковтун В.А.</b> Моделирование процессов контактного взаимодействия компонентов наноуплотненных систем при получении новых композитов на основе металлической матрицы .....	31
8. <b>Мустафаев М.Г.</b> Некоторые технологические особенности процесса формирования приборных структур с повышенными требованиями к параметрам .....	35
9. <b>Прудников А.М., Шалаев Р.В., Линник А.И., Варюхин В.Н., Костыря С.А., Бурховецкий В.В.</b> Получение и свойства наноструктурных пленок нитрида никеля .....	39
10. <b>Таланов М.В.</b> Влияние температуры спекания на пьезоэлектрические отклики керамик сегнетоэлектриков-релаксоров .....	42
11. <b>Суржиков А.П., Лысенко Е.Н., Малышев А.В., Казаковская О.Г.</b> Твердофазный синтез пентаферрита лития из механоактивированной смеси $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ .....	45
12. <b>Павлова А.Ю., Хивинцев Ю.В., Филимонов Ю.А., Tiercelin N., Pernod P.</b> Получение туннельных переходов с помощью локального анодного окисления пленок FeCo .....	48
13. <b>Терех В.В., Габриэлян А.В., Жога Л.В.</b> Переходный ток при переключении поляризации в бессвинцовой керамике $(\text{K}_{0,5}\text{Na}_{0,5})(\text{Nb}_{1-x}\text{Sb})\text{O}_3+0, 5\text{mol}\%\text{MnO}_2$ и ЦТС $\text{Pb}_{0,95}\text{Sr}_{0,05}(\text{Zr}_{0,53}\text{Ti}_{0,47})\text{O}_3+1\text{mol}\% \text{Nb}_2\text{O}_5$ .....	51

14. <b>Топчиев А.А., Малышкина О.В., Барабанова Е.В., Сорокина И.И., Иванова А.И., Пугачев С.И.</b> Влияние СВЧ металлизации на структуру керамики титаната-цирконата свинца .....	55
15. <b>Щука А.А.</b> Перспективные материалы наноэлектроники. Классификация материалов .....	59
16. <b>Ивашов Е.Н., Корпачёв М.Ю., Костомаров П.С., Ланцев А.Н., Лучников П.А.</b> Пути снижения размерности изображения топологии в УФ – литографическом процессе производства СБИС .....	66
17. <b>Эпов В.С.</b> Инжекционный ток в узкозонном полупроводнике PbSnTe(In) .....	74
18. <b>Прокопьев Е.П.</b> Возможности использования современных нанотехнологий в космических проектах .....	77
19. <b>Титов С.В., Павелко А.А., Алёшин В.А., Шилкина Л.А., Шабанов В.М., Титов В.В., Резниченко Л.А.</b> Структурные и мультифрактальные характеристики керамик феррита висмута, модифицированных редкоземельными элементами .....	79
20. <b>Балан Н.Н., Васин В.А., Ивашов Е.Н., Корпачёв М.Ю., Ланцев А.Н., Степанчиков С.В.</b> Надежность функционирования технологического оборудования нанолитографии .....	83
21. <b>Фам Май Ан, Нгуен Хоай Тхыонг, Бурханов А.И., Медников С.В.</b> Особенности диэлектрического отклика монокристалла LiNbO <sub>3</sub> в низко – и инфранизкочастотных переменных полях .....	88
22. <b>Постников В.В., Лисицын В.И., Камалова Н.С., Саврасова Н.А.</b> Термоэлектрические преобразования энергии в гетерогенных системах .....	91
23. <b>Яковлева Е.Н., Яковлев В.Б., Лаэров И.В.</b> Сравнительный анализ методов для вычисления динамических характеристик композиционных диэлектриков .....	93
24. <b>Моргунов В.Г.</b> Применение полимерных композиционных материалов в качестве замены цветных и чёрных металлов используемых при производстве модулей СВЧ .....	97
25. <b>Ивашов Е.Н., Князева М.П., Гамилова Т.П.</b> Модель формирования нанорисунка на подложке с учетом двух внутренних степеней свободы .....	101
26. <b>Вербенко И.А., Павленко А.В., Садыков Х.А., Шилкина Л.А., Шевцова С.И., Симоненко С.А., Константинов Г.М., Толмачёв Г.Н., Резниченко Л.А.</b> Оптимизация условий получения BST-керамических «мишеней» для тонких пленок .....	104
27. <b>Балан Н.Н., Васин В.А., Ивашов Е.Н., Костомаров П.С., Степанчиков С.В.</b> Оптимизация процессов иммерсионной ультрафиолетовой литографии в условиях малых выборок .....	112
28. <b>Балан Н.Н., Васин В.А., Ивашов Е.Н., Костомаров П.С., Степанчиков С.В.</b> Стратегия технического обслуживания оборудования иммерсионной УФ - литографии .....	117

29. <b>Степанчиков С.В.</b> Снижение загрязнений объектов электронного производства в сверхвысоковакуумном модульном оборудовании .....	122
30. <b>Балан Н.Н., Васин В.А., Ивашов Е.Н., Корпачёв М.Ю., Ланцев А.Н., Лучников П.А., Степанчиков С.В.</b> Проектирование и экспертиза технически целесообразных решений отражательных фотошаблонов для УФ – литографии .....	126
31. <b>Ивашов Е.Н., Кузнецов П.С., Степанчиков С.В., Вараксин А.Г.</b> Газовыделение из механических устройств сверхвысоковакуумного оборудования для сборки ЭОП .....	132
32. <b>Ивашов Е.Н., Кузнецов П.С., Степанчиков С.В.</b> Исследование газовыделения из вакуумных устройств с бесконтактным магнитным взаимодействием .....	134
33. <b>Стариков М.В., Ланцев А.Н., Курдюков С.А., Корнюхин А.В., Явич Д.А.</b> Использование SystemC TLM для анализа требований к компонентам системы графических терминалов .....	137
34. <b>Корнюхин А.В., Стариков М.В.</b> Выбор оптимального делителя тактовой частоты .....	140
35. <b>Ланцев А.Н., Стариков М.В.</b> Метод сокращения объема тестовых данных при ATPG .....	144
36. <b>Стариков М.В., Ланцев А.Н., Курдюков С.А., Корнюхин А.В., Явич Д.А.</b> Моделирование гетерогенных электронных устройств на системном уровне .....	147
37. <b>Корнюхин А.В., Курдюков С.А.</b> Практическая польза прототипирования в ПЛИС .....	150
38. <b>Корнюхин А.В., Ланцев А.Н.</b> Пример использования CRT и VIP для поиска скрытых функциональных дефектов .....	153
39. <b>Курдюков С.А., Ланцев А.Н., Стариков М.В.</b> Сокращение количества тестовой логики вокруг «черных ящиков» .....	156
40. <b>Курдюков С.А., Явич Д.А.</b> Современные методы характеристики отечественных полупроводниковых компонентов .....	159
41. <b>Зейниденов А.К., Ибраев Н.Х., Оспанова Ж., Аганина Г.</b> Получение нанопористых пленок оксида алюминия с удаленным барьерным слоем .....	162
42. <b>Ивашов Е.Н., Федотов К.Д.</b> Трехкоординатный пьезопривод для сканирующей туннельной микроскопии .....	165