

Vacuum technological equipment for microphotoelectronic production

A. N. Kozlov, I. S. Gaidoukova, A. G. Uvaev, A. B. Scherbakov, A. M. Filachev
ORION Research-and-Production Association, Moscow, Russia

The paper presents a series of electron-beam and ion-plasma installations for microphotoelectronic industry. The vacuum film deposition installation allows conducting unbreakable process of ion-beam etching, magnetron sputtering, and resistance-heated evaporation aimed to make a multi-component contact with the p-type semiconductor regions. Using the low-energy ions for substrate cleaning and etching reduces radiation damage of the substrate material and helps to avoid p-region inversion. The ion-beam etching installation is designed to etch semiconductor and metal materials in either inert or reactive gas environment to produce silicon MOS multiplexors. The electron-beam welding installation is designed for sealing the evacuated cases of photodiode array detectors.

УДК 537.533

Автоматизированный контроль технологических параметров вакуумного оборудования как обеспечение непрерывного контроля качества

А. Н. Козлов, Д. Э. Гринфельд, А. В. Щербаков, А. М. Филачев

ФГУП «Научно-производственное объединение "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

При производстве изделий микрофотозлектроники применяются установки вакуумного напыления, ионно-лучевого травления и электронно-лучевой сварки. Это оборудование сложно в эксплуатации, а ввиду высокой стоимости изделий проблема появления брака является актуальной. Для решения этой проблемы проведен анализ технологических процессов. Рассмотрены вопросы выбора контролируемых параметров. Намечены тенденции развития контроля качества при производстве изделий микрофотозлектроники.

При производстве изделий микроэлектроники и микрофотозлектроники применяются вакуумные технологические установки ионно-плазменного напыления, ионно-лучевого травления и другое вакуумное оборудование [1, 2], а также установки электронно-лучевой сварки. Это оборудование достаточно сложно в эксплуатации и при работе на нем в ручном режиме возникает проблема квалификации оператора. В любом случае, даже при работе в полуавтоматическом режиме, проблема появления брака остается актуальной, а анализ причин брака порой очень сложен.

Для решения этой проблемы был проведен анализ воспроизводимости и повторяемости технологических процессов. В ходе анализа стало ясно, что технологические параметры следует разделить на две связанные между собой группы:

- 1 — режимы вакуумной системы;
- 2 — режимы техпроцесса.

Также было очевидно, что необходимо:

разделить системы управления и системы исполнения;

отделить систему сбора информации от системы исполнения.

В результате мы получили легкоперестраиваемую систему с возможностью паспортирования техпроцесса.

Рассмотрим меры, необходимые для осуществления автоматизированного контроля параметров техпроцесса.

Для начала возьмем вакуумную систему в комплексе.

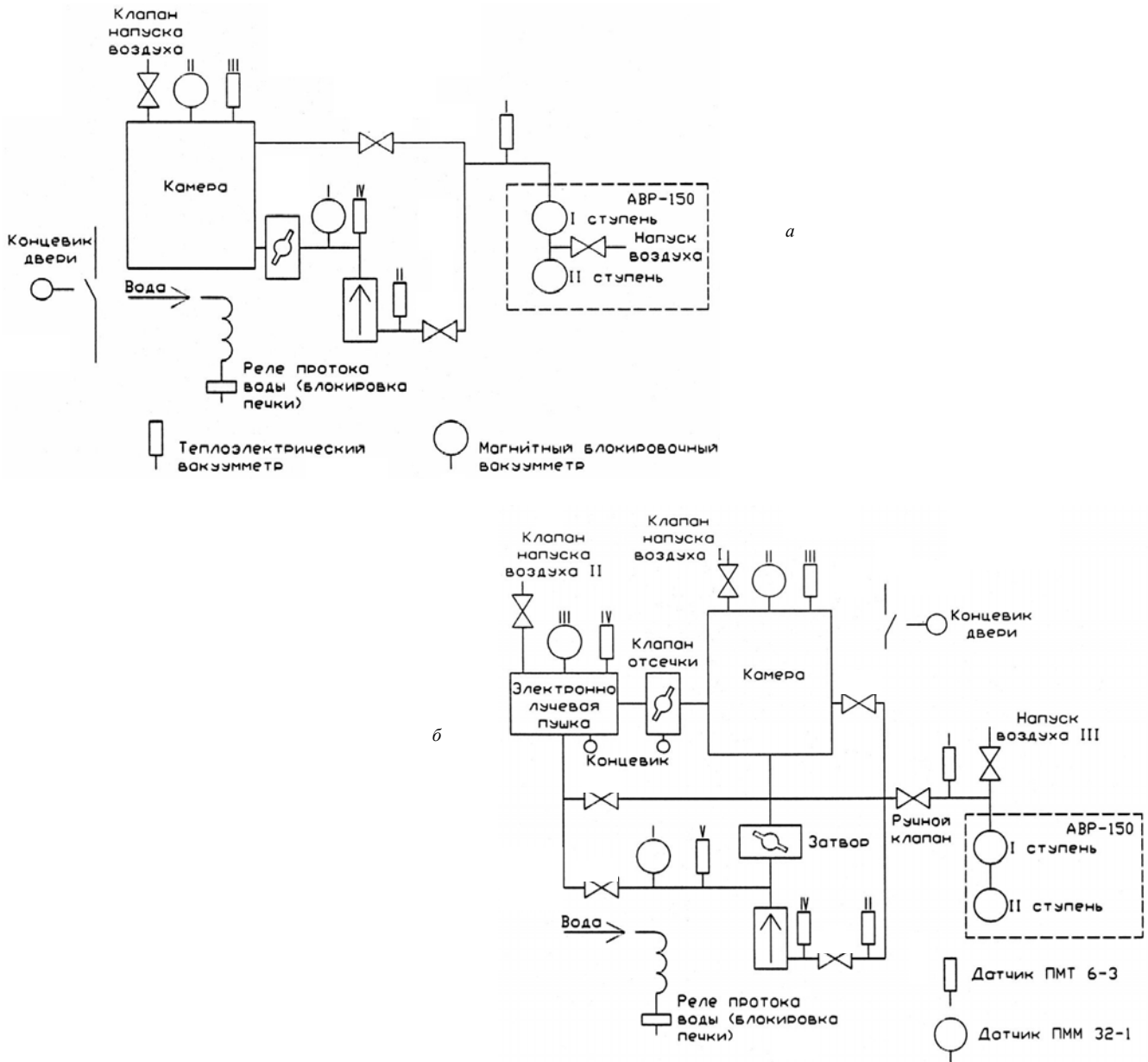
Под режимами вакуумной системы подразумеваются данные о состоянии откачной системы и текущий вакуум в контрольных точках. Под режимами техпроцесса подразумеваются режимы работы технологических источников, таких как ионный источник, магнетрон, системы напуска газов и т. д.

Параметры вакуумной системы зависят от производительности откачной системы и параметров "газовы-

деления" технологических источников. В свою очередь параметры технологических источников зависят от производительности откачной системы (способности откачной системы обеспечить необходимые газовые режимы технологических источников). Для обеспечения стабильности параметров технологических источников и технологического оборудования в целом необходимо иметь производительность откачной системы, в несколько раз превышающую газовую нагрузку при

работе технологических источников. Это необходимо для того, чтобы технологические источники работали стабильно во всех режимах и в основном с системой автоматического регулирования (с обратной связью).

Рассмотрим основные разновидности откачных вакуумных систем. Это системы с диффузионным насосом (масляная откачка) (рис. 1, а, б) и системы без масляной откачки (криогенный или турбомолекулярный насос) (рис. 1, в).



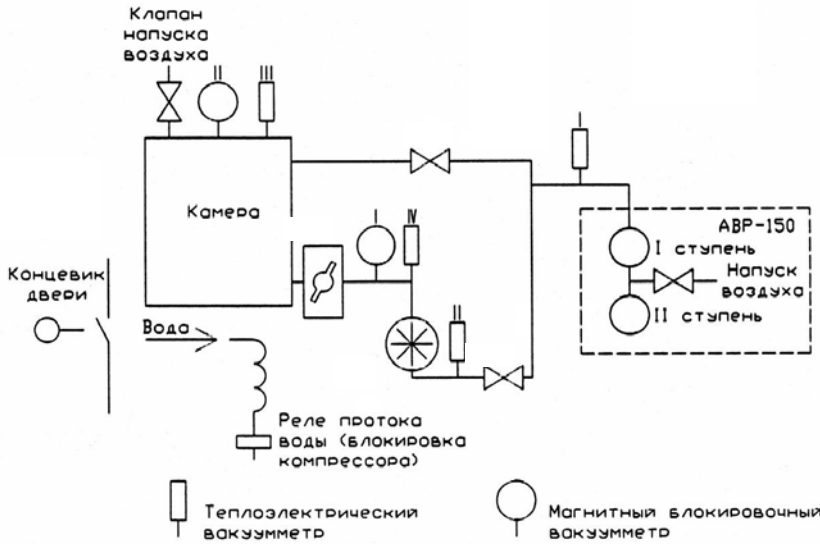


Рис. 1. Вакуумная схема откачки:

а — с диффузионным насосом; б — установки электронно-лучевой сварки с диффузионным насосом; в — с криогенным насосом

Схемы могут отличаться от приведенных выше, но принцип их построения одинаковый. Это ступенчатая откачка с переходом от одной системы откачки к другой по мере улучшения вакуума. Переключение откачных систем происходит по сигналу датчика вакуума. Качество, надежность, повторяемость процесса откачки определяются запорной арматурой (вакуумные клапаны, затворы), измерителями вакуума и откачными системами. При выборе вакуумных клапанов, затворов необходимо знать их конструкцию. Существуют механические (ручные), электромагнитные, электромеханические, пневматические приводы вакуумных клапанов и затворов. Для использования в современных системах откачки необходимо использовать такую запорную арматуру, что при аварийной ситуации (пропадании напряжения, воды) будет сохранена герметичность системы и откачные средства будут изолированы от откачиваемого объема. Этим условиям удовлетворяет запорная арматура с пневмоприводом, в которой разделены системы управления и исполнения команды на две системы. В таких системах управление идет по электрической цепи, а исполнение команды осуществляется пневмоприводом. Эксплуатация такой системы,

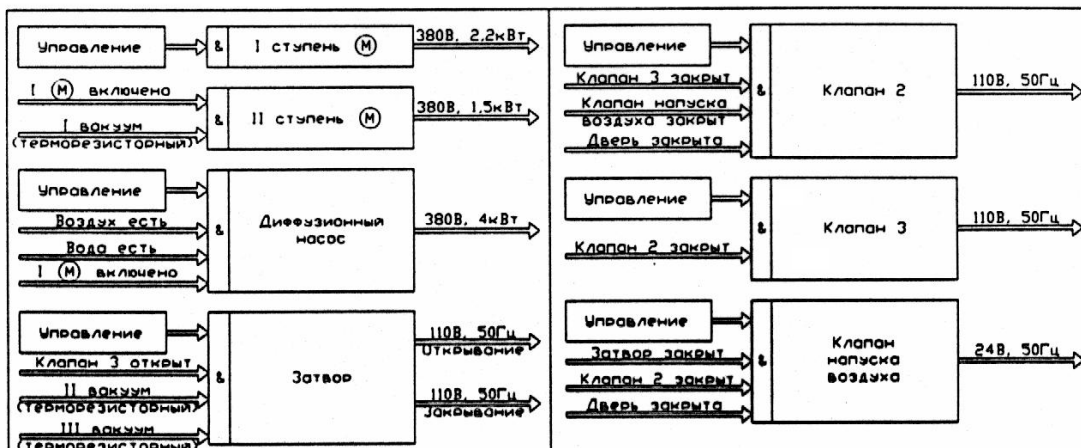
поиск неисправности, восстановление после отказа значительно проще по сравнению с электромагнитными и электромеханическими системами. Электромеханические системы (с приводом от электродвигателя) вообще приводят к большим проблемам при аварийных ситуациях, когда пропадает напряжение и клапан или затвор остаются в открытом положении, а откачные средства останутся.

Логика работы вакуумной системы жесткая. Система работает по алгоритму:

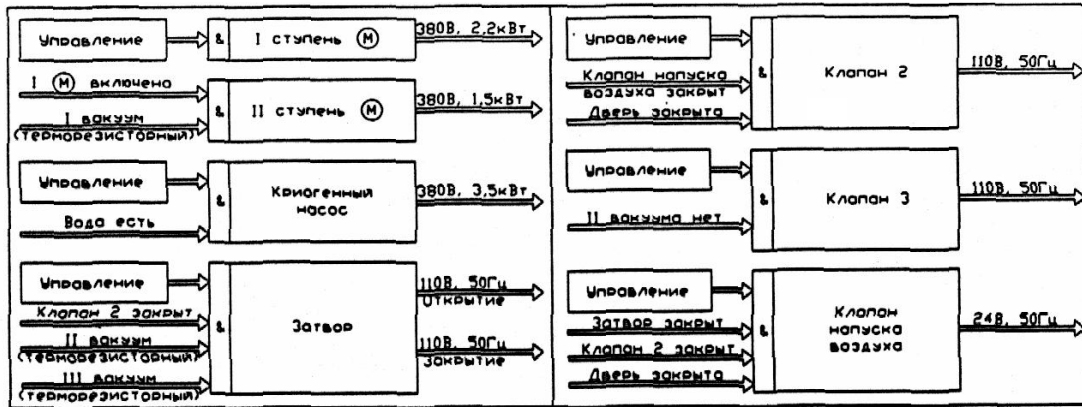
- 1) выход высоковакуумного насоса на режим;
- 2) отключение высоковакуумного насоса (охлаждение диффузионного насоса, остановка турбомолекулярного насоса, отключение криогенного насоса и т. д.);
- 3) откачка вакуумной камеры на высокий вакуум от атмосферы;
- 4) напуск воздуха в вакуумную камеру.

В реализации этих алгоритмов необходимо предусмотреть блокировку аварийных состояний вакуумной системы при переключении (при переходе откачной системы от одного состояния к другому).

Схемы блокировок указанных откачных систем показаны на рис. 2, а—в.



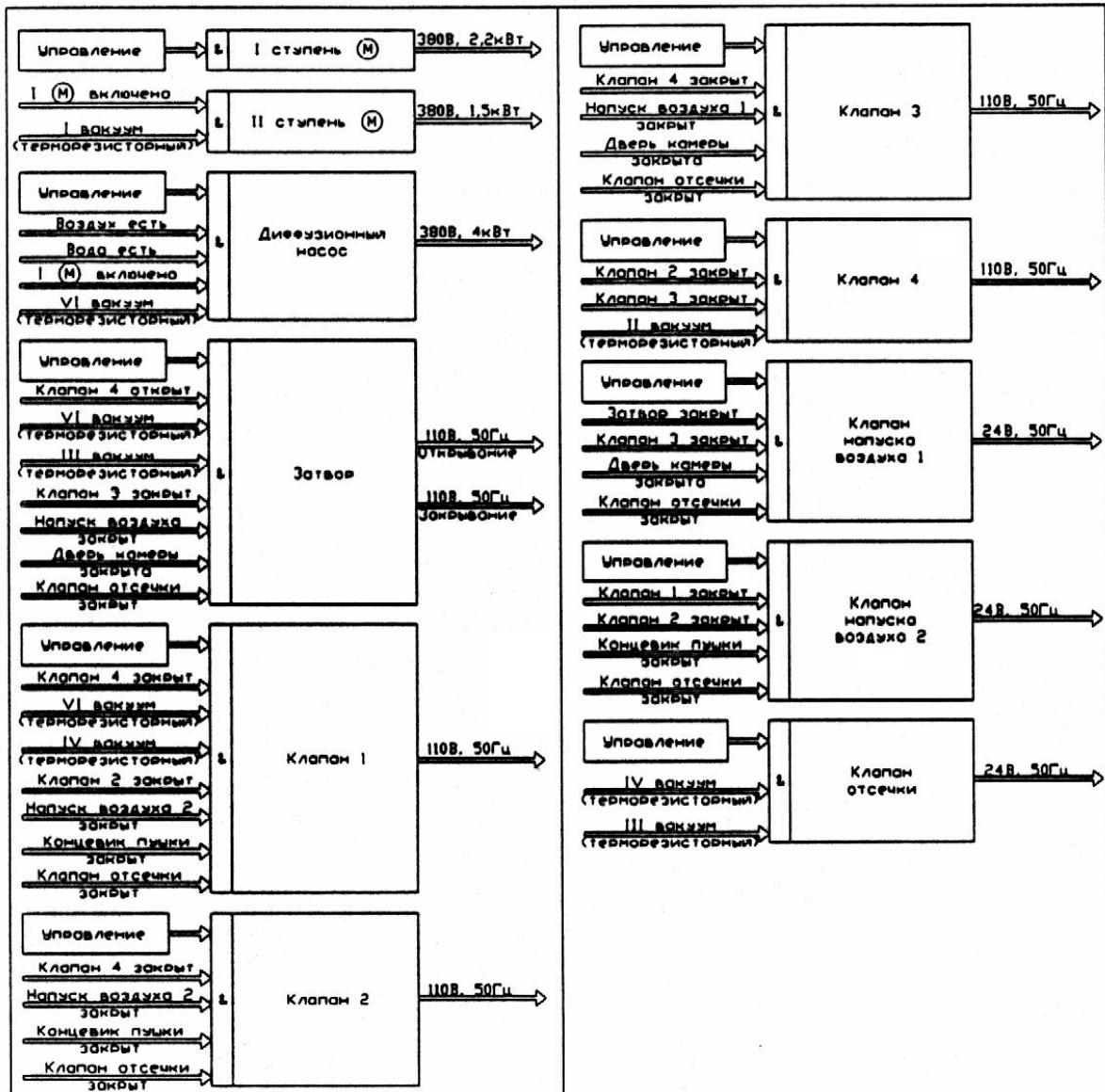
а



б

Рис. 2. Схема блокировок установки:

а — вакуумного напыления с диффузионным насосом; б — ионного травления с криогенным насосом;



а

Рис. 2. Окончание.

в — электронно-лучевой сварки

Реализовать такую систему с жесткими блокировками не составляет труда. Это легко реализуется, например, на микроконтроллере. Важно, что для работы

этой жесткой логики сигналы о достижении вакуума снимаются с блокировочных выходов вакуумметров, а для системы сбора информации о вакууме сигналы

снимаются с аналоговых выходов. Тем самым реализуется принцип разделения цепей сбора информации и исполнительной системы. Выход из строя датчика измерения вакуума, используемого в блокировочной и измерительной системе, будет сразу "вычислен", что предотвратит аварийное состояние.

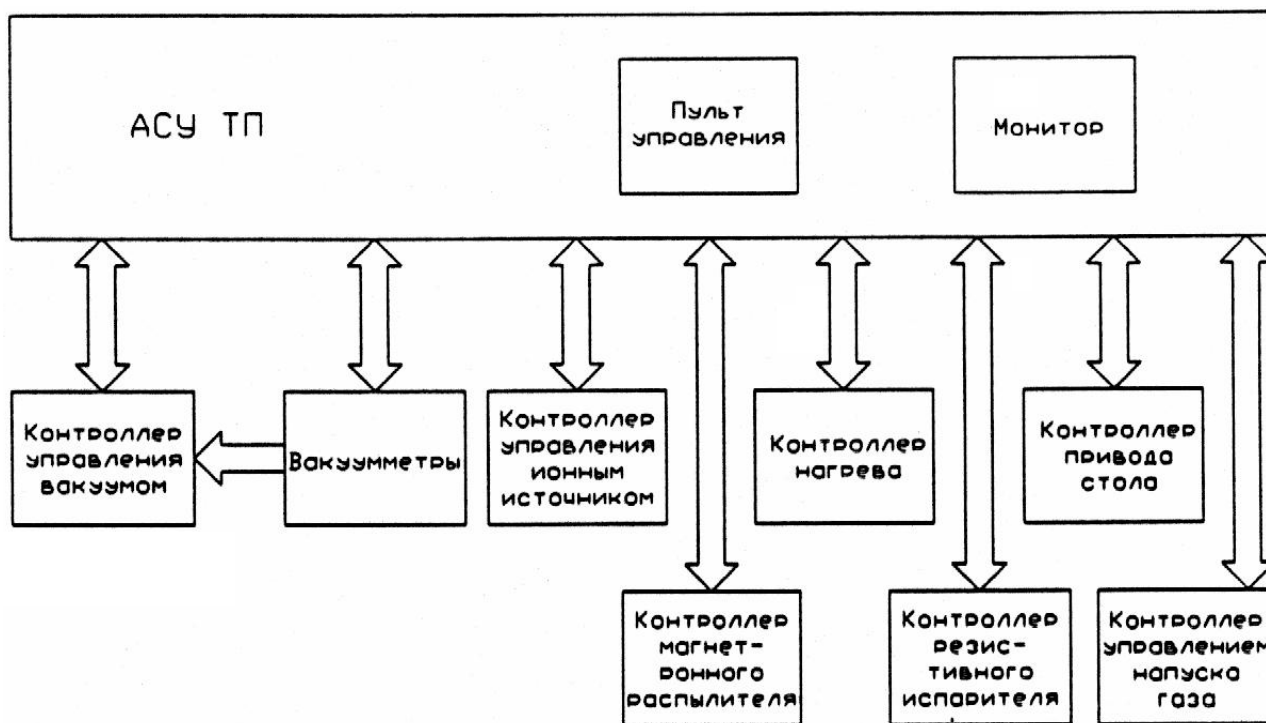
Более сложные системы откачки с получением вакуума 10^{-8} мм рт. ст. и лучше строятся по такому же принципу. Теперь на базе такой системы откачки можно строить технологическое оборудование, используя те же принципы.

Технологическое оборудование — это установки ионного травления, магнетронного, резистивного, дугового напыления, электронно-лучевой сварки и напыления и т. д. В этих установках применяются различные технологические источники с системами подачи газа и смеси газов или без них. Существует множество систем подачи газа как законченных изделий с возможностью стабилизации расхода газа или поддержания заданного давления. Для создания автоматизированной системы контроля хорошо использовать контроллер газовой системы как законченное устройство с внутренней обратной связью и адекватными параметрами управления и контроля. Использование газового контроллера с

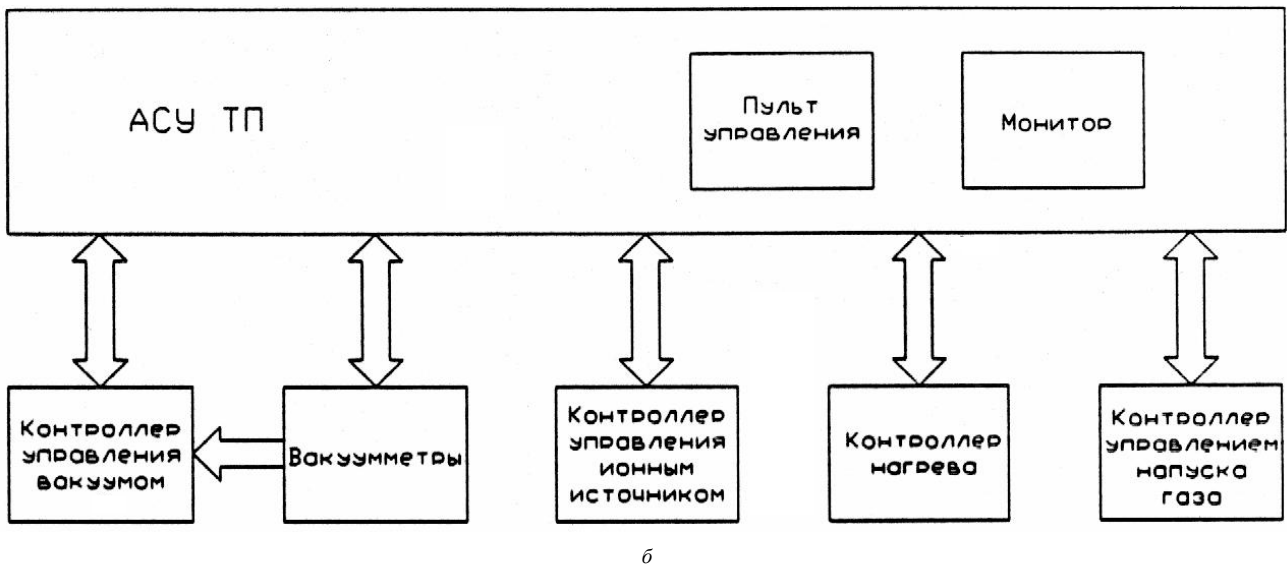
внутренним регулятором с обратной связью упрощает построение системы управления технологическим процессом.

Практически все технологические источники управляются от своих блоков питания, и режимы этих источников определяются режимами соответствующих блоков питания. Стабилизация режимов работы технологических источников осуществляется путем стабилизации определенных параметров источников питания с использованием обратной связи. Применение законченных контроллеров источников питания с адекватными сигналами управления и контроля значительно упрощает построение автоматизированной системы управления и контроля технологическим процессом.

Рассмотрим построение автоматизированной системы управления и сбора информации о технологическом процессе. Безусловно, это промышленный компьютер с аналоговыми и цифровыми входами и выходами и своей средой программирования. Система выглядит достаточно просто (рис. 3, а—в).

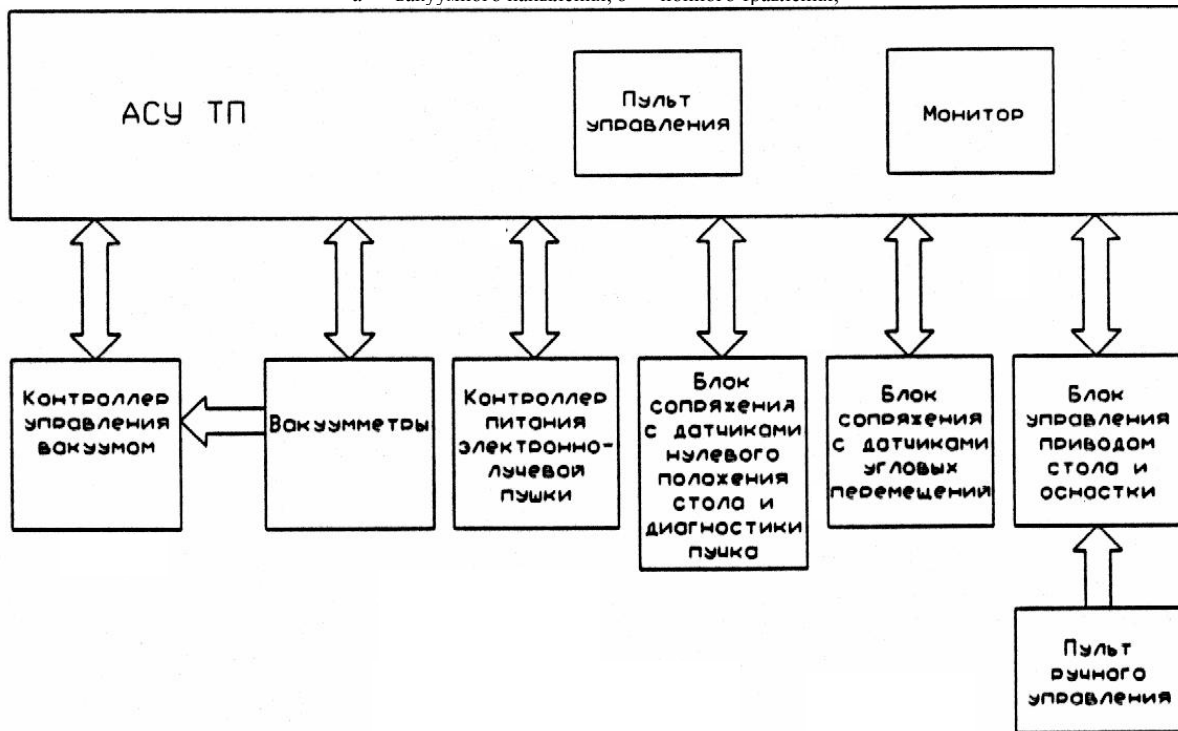


a



б

Рис. 3. АСУ установки:
а — вакуумного напыления; б — ионного травления;



в

Рис. 3. Окончание.
в — электронно-лучевой сварки

Это автомат, где по программе осуществляется переход от откачки на вакуум к последовательности технологических операций. Количество технологических процессов и параметры каждого процесса задаются в меню программы.

Входные аналоговые сигналы от технологических устройств (соответствующие блоки питания) оцифровываются с помощью АЦП с гальванической развязкой. Аналоговые сигналы с вакуумметров также оцифровываются и пересчитываются с помощью математических

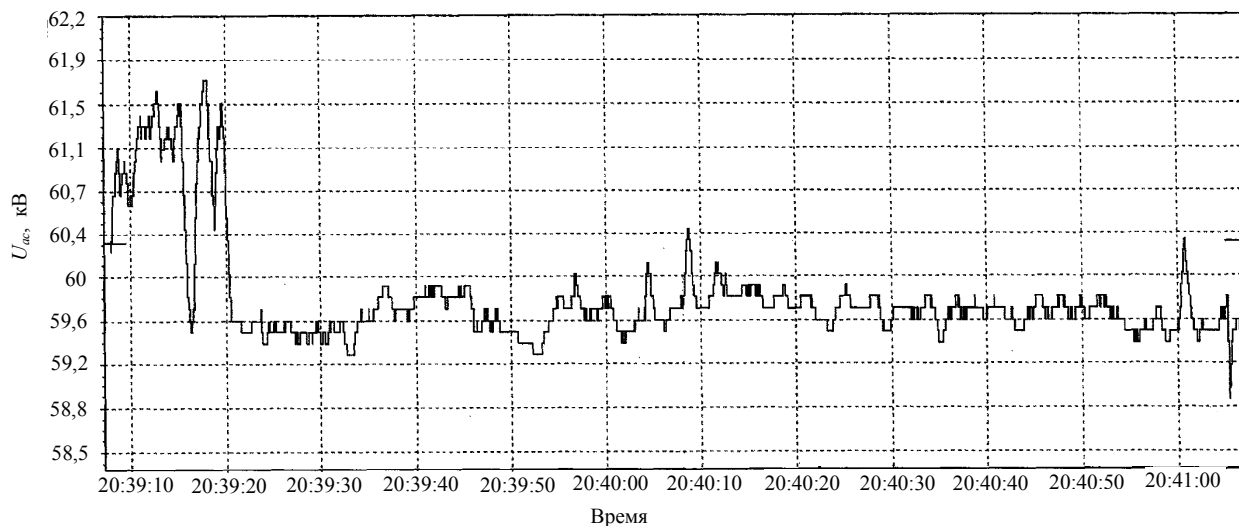
моделей согласно соответствующей градуировочной кривой. Выходные аналоговые сигналы управляют технологическими источниками в зависимости от установленного режима. По телеграфному RS или интернетовскому протоколу контроллер вакуумной системы оживляет мнемосхему на экране монитора, индицируя состояние откачной системы и текущий вакуум в контрольных точках. Работа технологических источников (ионный источник, магнетрон и т. д.) индицируется на соответствующих вкладках на мнемосхеме. Такая кон-

фигурация позволяет использовать любую вакуумную систему и любые технологические источники, что делает такую систему гибкой и легкоперестраиваемой.

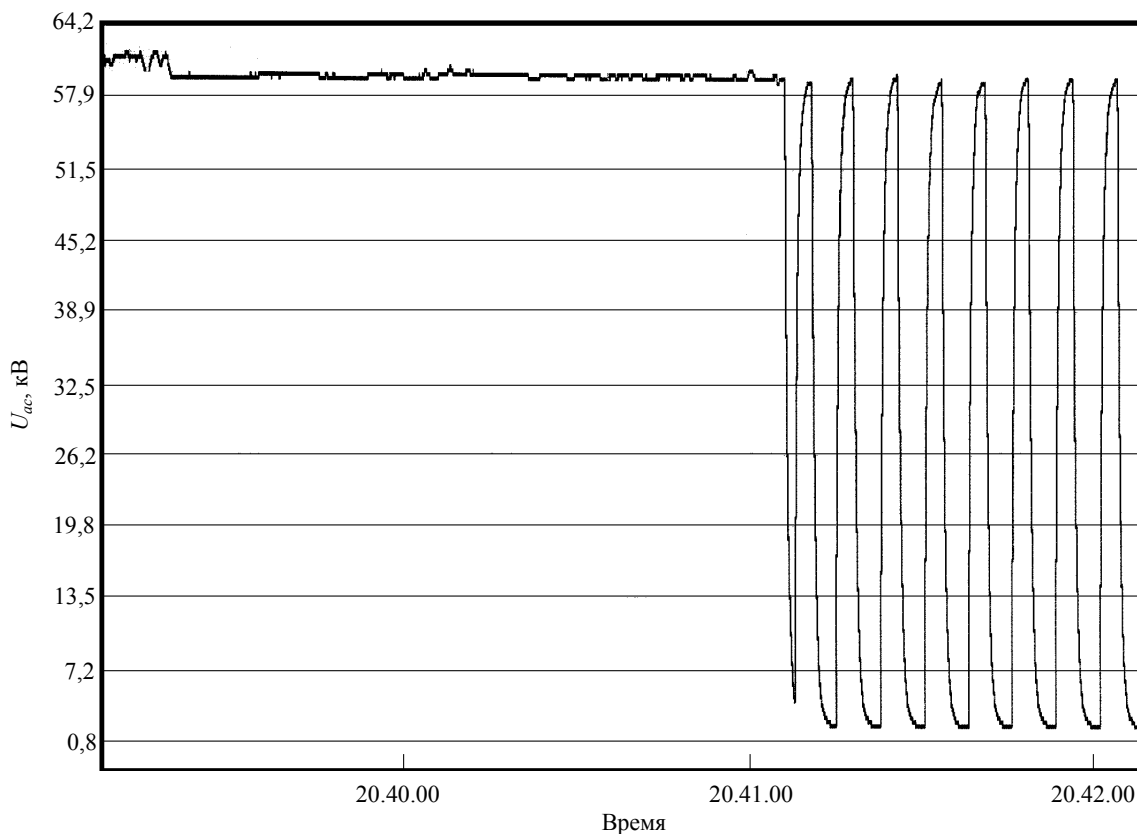
Архивация данных — это непрерывный мониторинг технологического процесса и паспорт качества на каждую обработанную деталь. Приведем пример.

В установке электронно-лучевой сварки при работе электронно-лучевой пушки случаются "пробои" (резкое кратковременное нарастание тока пучка и, соответственно, срабатывание защиты и уменьшение практически до нуля ускоряющего напряжения). Этот процесс

очень короткий, но при определенной скорости перемещения детали под пучком результаты заметны (рис. 4, а, б). Анализ характера "пробоев" и их "результатов" с привязкой к конкретному месту детали позволяет сделать правильные выводы. Ранее без такой системы мониторинга приходилось вслепую проводить технологические операции и о качестве изделия узнавать при последующих испытаниях. Теперь при непрерывном мониторинге есть возможность исправить деталь без повторного вакуумирования, экономя время на подготовительных операциях.



а



б

Рис. 4. Мониторинг процесса сварки:

а — дефект резистора в высоковольтном блоке питания; *б* — пробой в электронно-лучевой пушке во время сварки из-за ухудшения вакуума при испарении металла

Аналогично работают системы с другими технологическими источниками, которые также характеризуются кратковременными "пробоями", резкими бросками тока или просадкой напряжения и т. д., не определяемыми приборами источников питания, но влияющими на качество полученной детали. Архивация данных позволяет сделать вывод о состоянии вакуумных насосов и откачной системы в целом, определить сроки профилактики и замены масла и т. д. Автоматизированный контроль параметров вакуумного техно-

логического оборудования позволяет контролировать качество технологического процесса как при массовом производстве, так и при отработке технологии.

Л и т е р а т у р а

1. Еремин А. П., Смольянинов В. Д., Козлов А. Н., Уваев А. Г., Филачев А. М. Электронно-ионно-плазменное технологическое оборудование для изготовления изделий микрофотоэлектроники и точного машиностроения// Прикладная физика. 2004. № 1. С. 77—85.
2. Ворончев Т. А., Соболев В. Д. Физические основы электровакуумной техники. — М.: Высш. шк., 1967.

Статья поступила в редакцию 22 декабря 2005 г.

Automated control of technological parameters of vacuum equipment to guarantee unbreakable quality check

A. N. Kozlov, D. E. Greenfield, A. V. Scherbakov, A. M. Filachev
ORION Research-and-Production Association, Moscow, Russia

Discussed are the principles of building automatic control systems for electron- and ion-beam technological equipment. It is shown that such systems must provide unbreakable control of the technological processes, failure-safe evacuation and quality control.

УДК 537.533

Особенности выбора ионных источников с холодным катодом для точной ионно-лучевой обработки полупроводниковых структур

А. Н. Козлов, А. И. Зайцев, А. Е. Даниловский, А. М. Филачев

ФГУП «Научно-производственное объединение "Орион" — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

Для ионно-лучевой обработки полупроводниковых структур наиболее перспективны ионные источники с диаметром пучка 100 и 200 мм. Рассмотрены конструктивные особенности ионных источников с холодным катодом. Даны рекомендации по использованию промышленных ионных источников с холодным катодом типа "Радикал", Ион-2, Ион-3, Ион-4, Ион-Ф и др.

Для точной ионно-лучевой обработки полупроводниковых структур наиболее перспективны ионные источники, формирующие пучки диаметром 100 и 200 мм [1—7]. Основная задача таких источников — обеспечение высокой равномерности плотности тока по сечению пучка, а также получение заданной энергии ионов. Кроме того, эти источники должны обеспечивать достаточную плотность ионного тока и не вносить примеси в поверхность обрабатываемой подложки. Желательно, а в большинстве случаев просто необходимо, получение

ионов активных газов, например кислорода, что позволяет сделать однозначный выбор в пользу ионных источников с холодным катодом. Есть несколько основных типов ионных источников с холодным катодом.

К первому типу относятся ионные источники "Радикал", Ион-2, Ион-3, Ион-Ф (рис. 1).