



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ 2004-44  
ОЭА

А.Ф. Дунайцев, Т.И. Кузина, А.П. Леонов, Н.К. Марчихин,  
Г.Д. Некипелова, А.В. Савельев, А.М. Сасов, М.А. Слепцов,  
А.Н. Сытин, С.Н. Федотов

**СОЗДАНИЕ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ФИЗИЧЕСКИХ  
ЭКСПЕРИМЕНТОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ УСКОРИТЕЛЯМИ  
НА БАЗЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Направлено в журнал «Инженерная физика»

Протвино 2004

**Аннотация**

Дунайцев А.Ф. и др. Создание аппаратуры для физических экспериментов и систем управления ускорителями на базе современных технологий: Препринт ИФВЭ 2004-44. – Протвино, 2004. – 5 с., 3 рис., библиогр.: 6.

Рассматриваются современные тенденции в разработке и производстве аппаратуры систем управления ускорителями, включающие: организацию распределенного интегрированного комплекса, обеспечивающего сквозной цикл создания аппаратуры от постановки задачи до производства; использование средств моделирования с учетом реальной конструкции аппаратуры; обеспечение гибкой связи между разработчиками и производством, архивами проектов и установками ускорителей; обеспечение сотрудничества научных центров с использованием Internet и общих баз данных; применение и развитие современных технологий в производстве аппаратуры.

**Abstract**

Dunaitsev A.F. et al. Apparatus Development for Physical Experiments and Accelerators Control Systems on the Modern Technologies Base: IHEP Preprint 2004-44. – Protvino, 2004. – p. 5, figs. 3, refs.: 6.

Modern tendencies in development and production of apparatus for accelerator control systems in distributed complex of IHEP are considered. They include: the fast and effective cycle: development-design-preparation of production-production; simulation facilities subject to real apparatus configuration are used; flexible connections between developers, production, project files and accelerator equipment; remote access to common resources via Internet connections; application of modern technologies in apparatus productions. Some results of modern technologies using are described.

Современные исследования по физике элементарных частиц существенно повышают требования к экспериментальным установкам на ускорителях на сверхвысокие энергии. Значительно увеличивается количество детекторов и их типов, повышается пространственное и временное разрешение детекторов, повышается интенсивность пучков частиц. Естественно, это приводит к созданию электронных систем сбора и обработки экспериментальной информации, содержащих сотни тысяч (и более) каналов регистрации с накоплением и обработкой данных быстродействующими микропроцессорами и компьютерами. Это также выдвигает новые требования к пучкам частиц, что в свою очередь требует разработки новых, более совершенных, систем контроля и управления ускорителями и систем диагностики пучков заряженных частиц. Чтобы разрабатывать и изготавливать современную электронную аппаратуру и детекторы, необходимо иметь соответствующую техническую базу.

## **1. Структура интегрированного технологического комплекса**

Распределенный интегрированный комплекс ГНЦ ИФВЭ, в котором реализованы современные подходы к созданию аппаратуры для физических экспериментов и систем контроля и управления ускорителями, обеспечивает выполнение совместных международных проектов как внутри Института, так и в зарубежных научных центрах. Его архитектура [1] позволяет быстро и качественно выполнять все работы в цикле: разработка (включая расчеты и моделирование) – конструирование (включая моделирование с учетом реальной конструкции) – подготовка производства – производство – внедрение аппаратуры. Это достигается за счет создания среды для гибкого взаимодействия специалистов различных профилей: физиков, программистов, инженеров-электронщиков, конструкторов и технологов.

Сформированная неоднородная интегрированная среда включает в себя центральный сервер, удаленные персональные компьютеры пользователей, сетевое оборудование, базу данных, включающую в себя архив проектов и библиотеки, программное обеспечение ACAD, PCAD, PSpice, ANSYS и др., производственное автоматизированное технологическое оборудование. Характерными чертами комплекса являются открытость и гибкость его конфигурации, что позволяет осуществлять совместную работу с другими предприятиями в России и за рубежом. Санкционированный доступ к общим ресурсам осуществляется по локальной сети ГНЦ ИФВЭ для сотрудников Института или через Internet для внешних пользователей. В соответствии с уровнем доступа к базе данных пользователи разделяются на следующие категории: «администратор», «конструктор», «технолог», «все пользователи» (для сотрудников ИФВЭ), «конструктор», «все пользователи» (для внешних пользователей).

База данных включает в себя 8 функционально ориентированных разделов, например: «диагностика пучка», «механические стандарты» и др. Каждый раздел имеет древовидную структуру и содержит набор проектов (групп файлов), каждый проект имеет свое уникальное

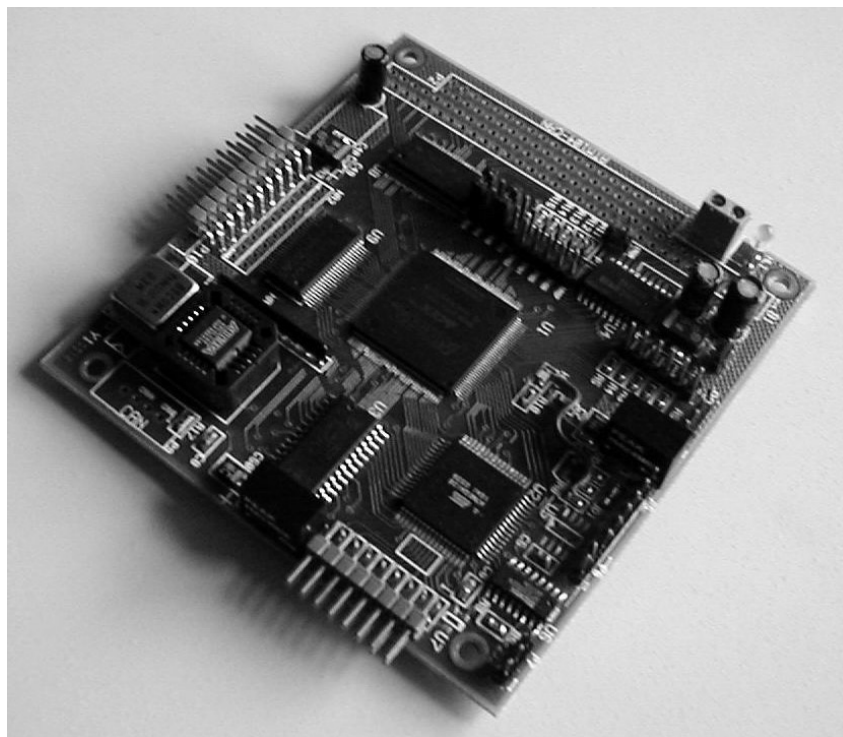
имя и содержит информацию только об одном устройстве (системе). Эта информация используется при конструировании устройства и подготовке его производства. Данные, полученные в процессе подготовки производства, хранятся на технологическом сервере и передаются по локальной сети в цех, непосредственно на автоматизированное технологическое оборудование. Для совершенствования организации проектирования и производства аппаратуры разработаны 26 форм документов (под MySQL), позволяющих контролировать весь процесс создания изделия.

Для удаленных компьютеров, расположенных непосредственно на экспериментальных установках и не содержащих программ PCAD, обеспечена возможность получения необходимой информации об аппаратуре из центральной базы данных. Это облегчает процессы эксплуатации и доводки аппаратуры на ускорителе или каналах пучков частиц.

На базе имеющегося технологического оборудования освоен и совершенствуется ряд технологических процессов.

## 2. Создание аппаратуры на базе современных технологий

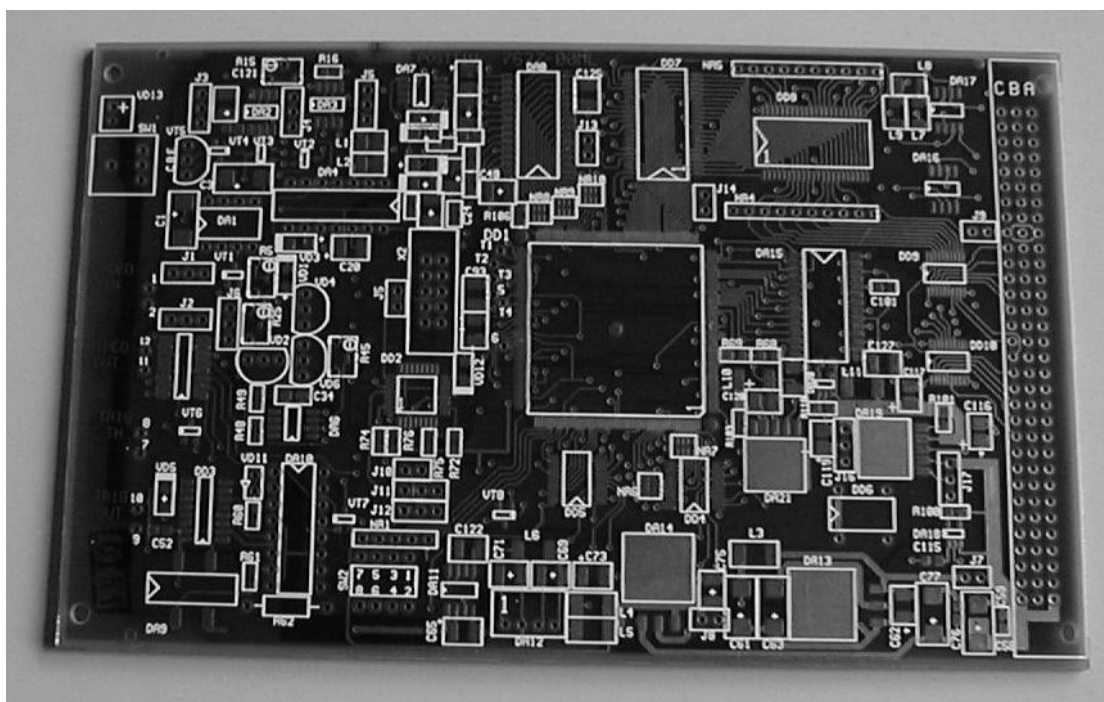
Технология производства печатных плат (ПП) методом металлизации сквозных отверстий позволяет изготавливать многослойные печатные платы (МПП) для поверхностного монтажа компонентов. Применение вакуумного прессы LAM 100V обеспечивает высокое качество пресования МПП. Контроль их качества осуществляется на двухзондовой установке Veritrak. Применение установки двухстороннего ультрафиолетового экспонирования DMVL-1530 позволяет получить ширину печатного проводника 150–200 мкм. Базовыми материалами для производства аппаратуры являются фольгированные стеклотекстолиты СТФ и СТНФ со стеклотканью прокладочной СТП-4. Для аппаратуры повышенной надежности (**рис. 1**) используются материалы группы FR-4, имеющие повышенную температуру стеклования (180°C).



**Рис. 1.** Контроллер DC-30 для системы диагностики линейного ускорителя УРАЛ-30.

ПП специального назначения (рис. 2) изготавливаются из безгалогенового ламината R1566 и препрега R1551 серии GX. Для производства ПП данного класса с поверхностно-монтажными компонентами (ПМК) используются: технология иммерсионного нанесения металлопокрытий никель-золото на поверхность контактных площадок [2]; технология нанесения жидкой паяльной маски на поверхность ПП [3].

Монтаж (демонтаж) ПМК осуществляется с помощью паяльно-ремонтной станции IR-500A фирмы ERSA.



**Рис. 2.** Восьмислойная ПП 12-разрядного АЦП для оцифровки сигналов с аналоговых ТВ-камер (работает в системе диагностики пучка).

Для создания компонентов систем контроля параметров пучка разработаны и использованы прецизионные вакуумные и фотолитографические технологические процессы. Вакуумные технологии позволяют получать пленочные покрытия толщиной от 0,01 мкм до 5–10 мкм, фотолитографические – многослойные структуры с размерами отдельных элементов 30–50 мкм. По указанным технологиям изготовлены сигнальные электроды для устройства диагностирования пучка, мишени перезарядной инжекции и др.

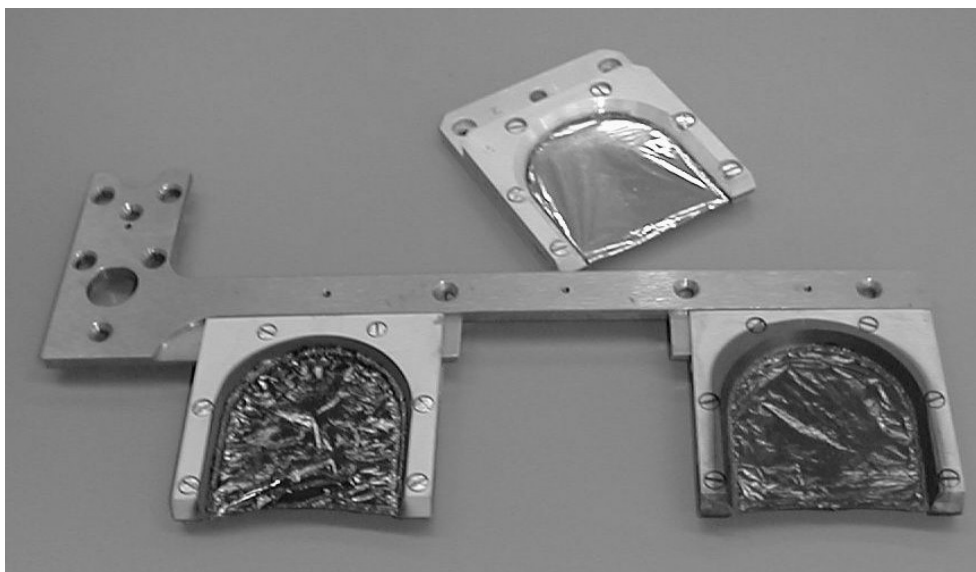
Нами проведено теоретическое обоснование выбора химических элементов для получения материала мишени. За оптимальный вариант принята система Al-Mg-B. Соотношение компонентов выбрано таким, что сплав представляет собой твердый раствор магния в алюминиевой матрице, по границам зерен которого распределен бор, находящийся в мелкодисперсном состоянии. Легирование алюминия магнием и бором снижает плотность сплава, кроме этого, бор, располагаясь на поверхности зерен, препятствует процессам изменения размеров кристаллов, обеспечивая тем самым стабильность свойств сплава.

Мишень изготавливается путем термического напыления указанного сплава на подложку из бериллиевой фольги. После растворения фольги получается свободная пленка толщиной  $0,8 \pm 1,0$  мкм. Ее зернистая структура характеризуется высокой дисперсностью, размер зерна составляет  $0,03 \pm 0,05$  мкм. На дифрактограмме наблюдаются отражения, указывающие на наличие твердого раствора с ГЦК-структурой, параметр решетки  $a = 4,0610$  Å, и второй фазой той

же сингонии, но с параметром  $a = 28,2310 \text{ \AA}$ , что идентифицируется как  $\text{Mg}_2\text{Al}_3$ . После отжига структура пленки остается дисперсной, средний размер зерна увеличивается до  $0,08 \text{ мкм}$ . Это подтверждает тезис о том, что частицы бора тормозят развитие рекристаллизации.

Полученная таким образом мишень (рис. 3) была установлена в канале транспортировки пучка протонов с энергией  $30 \text{ МэВ}$  из линейного ускорителя в кольцевой. Диаметр пучка составлял  $30 \text{ мм}$ . После  $\sim 7000$  часов работы мишени через нее прошло  $6 \cdot 10^{19}$  протонов, общая доза облучения составила  $\sim 1,4 \cdot 10^{10} \text{ Гр}$ . Пленка за это время не разрушилась, но произошло визуально заметное огрубление ее поверхности в зоне прохождения пучка.

Поэтому, с целью повышения надежности мишени, нами предпринята попытка сформировать на ее поверхности углеродное покрытие. Его назначение – увеличить тепловую излучательную способность металлической пленки. Распыление углерода осуществлялось ионно-плазменным методом на устройстве магнетронного типа.



**Рис. 3.** Мишень перезарядной инжекции с покрытием из углеродных соединений (в центре пленка без углеродного покрытия).

Рентгеновский микроанализ показал, что структура конденсированной пленки представляет собой смесь трех фаз. Две из них относятся к кубической сингонии с параметрами решетки  $a_1 = 14,103 \text{ \AA}$  и  $a_2 = 14,16 \text{ \AA}$ , а третья имеет пространственную решетку гексагонального типа с параметрами  $a = 8,895 \text{ \AA}$ ,  $c = 15,273 \text{ \AA}$ . Полагаем, что фазы, относящиеся к кубической сингонии, являют собой фуллереноподобные структуры, а гексагональной – полиморфную модификацию карбина.

Установлено, что в зависимости от режима работы магнетрона изменяется количественное соотношение этих фаз. Предварительный нагрев поверхности конденсации до  $200^\circ\text{C}$  не оказывает заметного влияния на фазовый состав пленки.

Таким образом, можно полагать, что синтез фуллереноподобных структурных образований, стойких к воздействию радиации и высоких температур, протекает преимущественно в газообразном потоке углерода, распыленного магнетроном [4].

Вакуумные технологии были использованы для формирования двухстороннего диэлектрического покрытия на ленточном магнитопроводе из аморфного сплава. Он предназначался для навивки сердечников трансформаторов тока, служащих для измерения высокочастотных составляющих циркулирующего пучка при запуске и эксплуатации ускорителя. Лента выполнялась из сплава на основе кобальта, легированного Si, B, Ni, Fe и Cr. Ее получали методом

быстрой закалки расплава на охлаждаемом быстро вращающемся барабане с полированной поверхностью. Скорость охлаждения составляла  $\sim 10^6$  К/с, производительность при этом 2–3 км ленты в минуту. Шероховатость поверхности ленты со стороны контакта с барабаном определяется качеством полировки барабана, а со стороны атмосферы на 2–3 класса ниже. Поэтому ленту перед напылением диэлектрика подвергали электрохимической полировке.

Так как рекристаллизация аморфных сплавов начинается при температуре лишь немного превышающей температуру стеклования, то в процессе вакуумного напыления необходимо было исключить вероятность сильного нагрева ленты, что достигалось за счет применения системы тепловых экранов.

В качестве диэлектрика использовали свинцовоборосиликатное стекло. Его испаряли методом непрерывной подачи порошка на резистивно нагреваемый испаритель [5].

Непрерывный контроль режимов технологического процесса и точная дозировка распыляемого материала обеспечили получение изоляционного слоя, выдерживающего изгиб ленты по радиусу не менее 10 мм [6].

### Заключение

Эксплуатация распределенного интегрированного комплекса показала его эффективность при создании аппаратуры систем контроля и управления ускорителями. При его использовании сокращаются сроки создания аппаратуры, повышается ее качество, обеспечивается гибкость в реализации совместных проектов.

Прецизионные технологии, базирующиеся на вакуумных напылительных и фотолитографических процессах, являются неотъемлемой компонентой интегрированного технологического комплекса. Они обеспечивают создание таких детекторов заряженных частиц и датчиков диагностики пучков, которые по своим эксплуатационным параметрам отвечают требованиям современных физических экспериментов.

### Список литературы

- [1] Дунайцев А.Ф., Леонов А.П., Лукьянцев А.Ф. и др. Об организации интегрированной системы автоматизированного проектирования и производства радиоэлектронной аппаратуры для проведения исследований в области физики высоких энергий. // Инженерная физика, № 1, 2000, с. 24–32.
- [2] Материалы международной конференции «Печатные платы». Санкт-Петербург, 30–31 мая 2000.
- [3] Материалы Российской конференции «РОСКОН-2001». Санкт-Петербург, 13–14 июня 2001.
- [4] Сасов А.М., Гуревич А.С., Сытин А.Н. и др. Синтез фуллереноподобных структур плазменным методом. Материалы VIII Международной конференции. Судак, 2003.
- [5] Расходомер Сасова. Сасов А.М. Патент РФ № 2117254, 1998.
- [6] Электровибрационное устройство. Сасов А.М. Патент РФ № 211614, 1998.

*Рукопись поступила 23 ноября 2004 г.*

А.Ф. Дунайцев и др.

Создание аппаратуры для физических экспериментов и систем управления ускорителями на базе современных технологий.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы Word.

Редактор Л.Ф. Васильева.

---

Подписано к печати 25.11.2004.      Формат 60 × 84/8.      Офсетная печать.

Печ.л. 0,625.      Уч.-изд.л. 0,5.      Тираж 130.      Заказ 334.      Индекс 3649.

---

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий,  
142281, Протвино Московской обл.



Индекс 3649

---

ПРЕПРИНТ 2004-44, ИФВЭ, 2004

---