

С-355

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

9-95-450

На правах рукописи
УДК 621.384.649

СИКОЛЕНКО
Вадим Витальевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА
ИОНОВ ВЗРЫВОЭМИССИОННОГО ТИПА
ДЛЯ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
В ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Специальность: 01.04.20 — физика пучков заряженных частиц
и ускорительная техника

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Дубна 1995

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:

доктор технических наук

Сергей Александрович

старший научный сотрудник

Корнев

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,

Лев Николаевич

профессор

Зайцев

кандидат физико-математических наук,

Галина Михайловна

старший научный сотрудник

Новикова

Ведущая организация:

Московский радиотехнический институт РАН, г. Москва


Защита состоится "___" _____ 199 г. в ___ час. на заседании

Диссертационного Совета Д-047.01.06 при Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" _____ 199 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета


В.Г. Кривохижин

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Такая область ускорительной техники, как сильноточные импульсные наносекундные пучки заряженных частиц, характеризуется огромными значениями импульсной мощности и энергии. Благодаря открытию явления взрывной эмиссии электронов и впоследствии взрывной эмиссии ионов, были разработаны методы генерации сильноточных электронных и ионных пучков и на их основе - наносекундные ускорители прямого действия с кинетической энергией частиц 150 + 300 кэВ и током пучка 1 + 1000 кА. Такие ускорители активно применяются в прикладных экспериментах для поверхностного упрочнения металлов, отжига полупроводников, разложения азидов серебра, модификации сверхпроводников типа Nb₃Ge. Есть попытки использовать такого рода пучки в экспериментах по управляемому термоядерному синтезу. Но в настоящее время еще не все возможности ускорителей, базирующихся на явлении взрывной эмиссии, используются в полной мере.

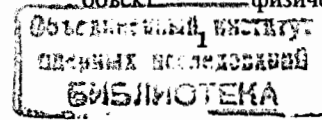
Задачами диссертационной работы являлись: разработка и исследование режимов работы импульсного взрывоэмиссионного вакуумного ионного диода, протекающих в нем физических процессов, разработка инициаторов анодной плазмы, для применения этого диода в физических экспериментах по получению пленок взаимонерастворимых друг в друге элементов и получению пленок высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП).

Научная новизна.

1. Разработан и исследован взрывоэмиссионный вакуумный диод, в котором исследованы режимы ионного перемешивания пленок с подложками в процессе напыления, и получены пленки нерастворимых друг в друге элементов.
2. Исследованы режимы работы взрывоэмиссионного вакуумного диода для получения ВТСП пленок.
3. Исследован вопрос увеличения критического тока ВТСП облучением импульсным сильноточным электронным пучком. Создано устройство для импульсного измерения критических токов ВТСП.

Практическое значение.

1. Разработанный и исследованный в диссертации ионный диод является одним из наиболее эффективных и простых средств для получения пленок нерастворимых друг в друге элементов, которые представляют большой интерес, как объект физических экспериментов.



2. Напыление пленок Al на бериллиевую фольгу с помощью ионного диода позволяет получать фольги для выпускных устройств в атмосферу в электронных ускорителях, ресурс которых превышает ресурс фольг без соответствующего напыления.

3. Получение пленок высокотемпературных сверхпроводников в ионном диоде - это новый эффективный метод получения таких пленок, широко используемых в физических экспериментах.

На защиту выносятся следующие тезисы:

1. Разработан и исследован взрывоэмиссионный вакуумный диод, в котором исследованы режимы ионного перемешивания пленок с подложками в процессе напыления, и получены пленки взаимонерастворимых друг в друге элементов.

2. Предложены и разработаны инициаторы анодной плазмы для напыления многокомпонентных пленок.

3. Найдены режимы работы ионного диода для получения многокомпонентных пленок с сохранением стехиометрического состава на примере ВТСП.

4. Облучение импульсным сильноточным электронным пучком приводит к увеличению критического тока ВТСП в несколько раз и уменьшению удельного сопротивления.

Апробация работы.

Основные результаты, изложенные в диссертационной работе, докладывались на I Всесоюзном совещании по высокотемпературной сверхпроводимости (Харьков, 1988), II Всесоюзном совещании по высокотемпературной сверхпроводимости (Киев, 1989), Международном семинаре по высокотемпературной сверхпроводимости (Дубна, 1989), III Международной конференции "Модификация материалов импульсами энергии и пучками частиц" (Дрезден, 1990), XXX совещании по физике низких температур (Дубна, 1994), семинарах Общественного научно-методического Отделения, семинарах Лаборатории Сверхвысоких энергий и Лаборатории Нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано в виде статей, докладов и тезисов 8 работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 100 страницах, включает 43 рисунка и

8 таблиц. Список литературы содержит 78 наименования.

Содержание работы.

Во введении сформулирована цель работы, кратко изложено содержание глав диссертации и приведены тезисы, выносимые на защиту.

В первой главе проведен краткий обзор существующих импульсных ионных источников для применения в физических экспериментах по вакуумной конденсации, напылению пленок ВТСП. В заключение изложены физические основы взрывной ионной эмиссии.

Во второй главе описана экспериментальная установка для получения ионных пучков. Она состоит из плазменного диода, вакуумной системы, генератора Аркадьева-Маркса и системы управления. Для запитки диода использовался генератор Аркадьева-Маркса. На рис.1 приведена блок-схема взрывоэмиссионного вакуумного диода. В качестве инициатора плазмы в экспериментах по получению пленок ВТСП был предложен и использовался инициатор из материалов ВТСП, работающий при комнатной температуре, в экспериментах по получению пленок Ti/Al и Al/Be - инициаторы из Ti и из Al соответственно. В экспериментах по облучению ВТСП использовался углеродно-волоконный эмиттер. Вытягивающим электродом являлась металлическая мелкоструктурная сетка с коэффициентом прозрачности ~ 0.6. Высоковольтный проходной изолятор, осуществляющий высоковольтную развязку катодного узла, был выполнен из капролона.

Основное отличие установки для генерации ионных пучков от установки для генерации электронных пучков заключается в полярности импульса напряжения, используемого для запитки вакуумного диода. В первом случае это импульс положительной полярности, во втором случае - отрицательной. Сорт ионов определяется материалом инициатора анодной плазмы.

Далее приводится описание диагностической аппаратуры для измерения параметров электронных и ионных пучков: цилиндры Фарадея, интегрирующие пояса Роговского для измерения тока пучка, высоковольтные делители для измерения напряжения на источнике частиц и т.д.

Исследование топографии поверхности образцов проводилось на растровом электронном микроскопе JSM-840, а распределение профиля концентрации по глубине - методом обратного резерфордского рассеяния протонов (РБС) и методом вторичной ионной масс-спектропии (ВИМС). Точечный элементный анализ осуществлялся электронным зондом по спектру

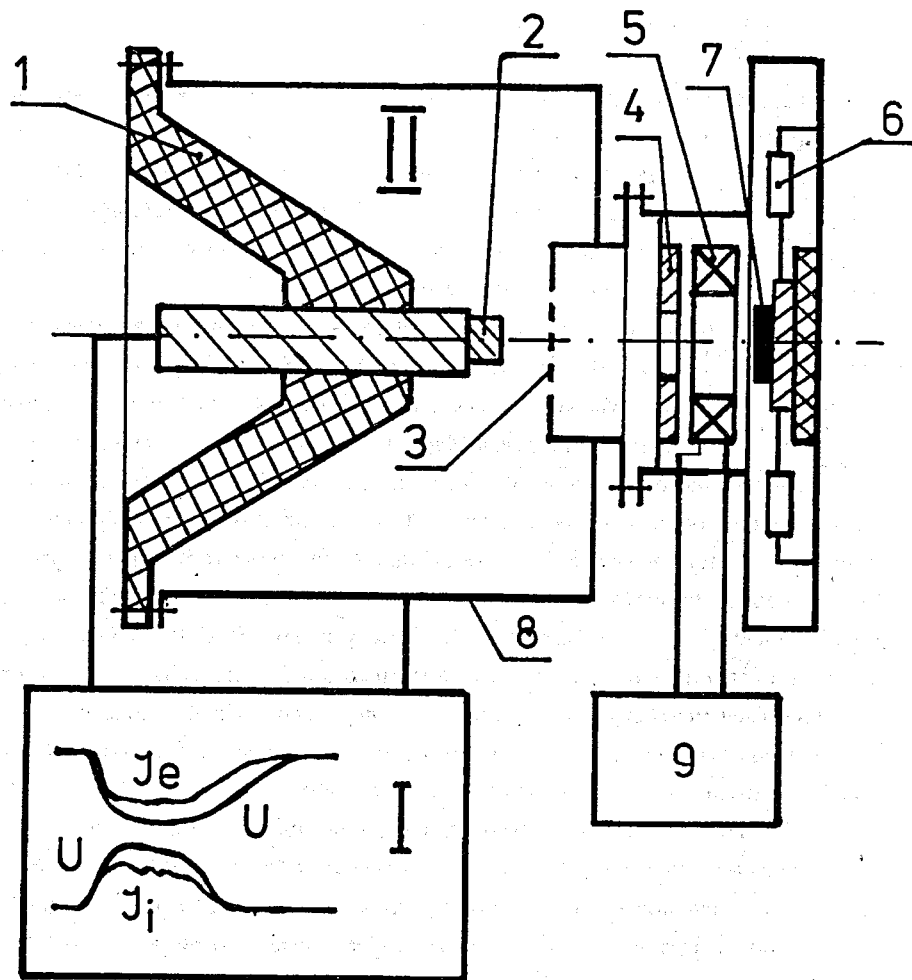


Рис. 1. Блок-схема взрывоэмиссионного вакуумного диода
 I - генератор Аркадьева-Маркса II - электрон-ионный источник
 1-высоковольтный изолятор, 2-инициатор плазмы, 3-вытягивающий электрод, 4-коллиматор,
 5-пояс Роговского, 6-токовый шунт, 7-подложка, 8-вакуумная камера, 9- осциллограф.

рассеяния, фазовый анализ проводился по данным рентгеновской дифракции на установке ДРОН-3. Измерение зависимости сопротивления от температуры проводилось стандартным четырехточечным методом.

Для измерения критического тока используемых в экспериментах образцов высокотемпературных сверхпроводников, было создано устройство, основанное на прямом импульсном контактном измерении критического тока, с бесконтактным измерением тока, протекающего через образец, RL-интегрирующим токовым трансформатором - поясом Роговского.

Третья глава посвящена исследованию ионного импульсного диода, разработке установки для напыления пленок с ионным перемешиванием и установки для напыления пленок ВТСП.

В первой части главы приводятся результаты исследования режимов работы взрывоэмиссионного диода при генерации ионного пучка.

При запитке вакуумного диода импульсом положительной полярности и при превышении напряженности электрического поля $E = \frac{kU}{D}$, где k - коэффициент усиления электрического поля на аноде, U - напряжение на диоде, D - расстояние между катодом и анодом, некоторой пороговой величины $E_{пор}$, зависящей от материала анода ($E_{пор} \sim 10^7$ В/см при давлении $P \sim 10^{-5}$ Торр), наблюдается явление взрывной вакуумной ионной эмиссии, которая сопровождается интенсивным распылением материала анода и образованием плазменного факела. Анодная плазма, состоящая из ионов материала инициатора, пара, электронов движется в сторону катода. Токоотбор пучка ионов осуществляется с границы анодной плазмы до тех пор, пока не произойдет закорачивание диода этой плазмой. Величина плотности ионного тока определяется законом Чайлда - Ленгмюра:

$$j = \frac{4E_0(2Z_i)^{1/2}U^{3/2}}{9(M_i)^{1/2}D^2} \quad (1)$$

где M_i и Z_i - масса и заряд иона, $E_0 = 8.86 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. При формировании анодной плазмы происходит интенсивное распыление материала инициатора анодной плазмы, которое существенно превосходит распыление инициатора катодной плазмы при взрывной электронной эмиссии. Это явление можно использовать для напыления пленок материала анода на подложки, расположенные за сетчатым катодом.

При напылении можно использовать два режима работы диода:

а) без закорачивания диода анодной плазмой, когда длительность импульса напряжения t_H меньше времени закорачивания диода:

$$t_H < t_{зак} = \frac{D}{V_{ap}} \quad (2)$$

где D - расстояние между анодом и катодом, V_{ap} - продольная скорость анодной плазмы;

б) с закорачиванием диода анодной плазмой, когда длительность t_H больше времени закорачивания диода анодной плазмой:

$$t_H > t_{зак} = \frac{D}{V_{ap}} \quad (3)$$

В первом режиме работы ионного диода время распыления материала t_p сравнимо с длительностью импульса ионного тока, а во втором режиме $t_p > t_H$. Сравнение этих двух режимов показывает, что второй режим позволяет увеличить скорость напыления, что связано с большой величиной разрядного тока в диоде. Временные диаграммы второго режима напыления, представленные на рис. 2, поясняют вышесказанное. Действительно, при закорачивании диода анодной плазмой амплитуда импульса напряжения уменьшается (штриховая линия импульс U , диаграмма 1), ток пучка падает, т.е. токоотбор ионного пучка прекращается (Импульс J_b , диаграмма 2), а полный ток (разрядный ток) возрастает (импульс J_f , диаграмма 3). Этот процесс характеризуется усилением эрозии анода и, следовательно, увеличением массопереноса материала анода.

Продольная скорость разлета анодной плазмы $V_{an} \sim 10^6$ см/с, следовательно $v_i \gg v_{an}$, поэтому существует время задержки Δt между окончанием импульса разрядного тока в диоде и временем прихода паровой компоненты на подложку. Ионная модификация осуществляется пучком ионов, который формируется в этом режиме до закорачивания диода анодной плазмой (импульс J_b). Необходимо отметить, что первый пучок ионов осуществляет "чистку" поверхности подложки. Процессы повторяются с частотой, определяемой в основном параметрами генератора импульсного напряжения и временем восстановления электрической прочности диодного зазора.

Далее приводятся результаты по разработке установки для напыления пленок с ионным перемешиванием. Обычно для получения пленок нерастворимых друг в друге элементов используются попеременные процессы

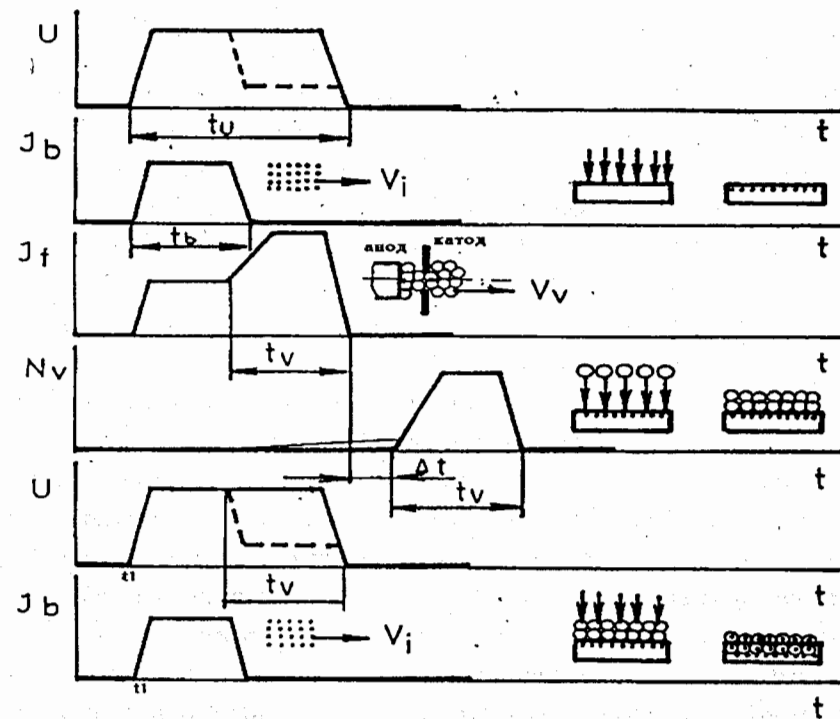


Рис. 2. Временные диаграммы напыления пленок и их ионной модификации в импульсном взрывоэмиссионном ионном вакуумном диоде. U - напряжение на диоде; J_b - ток ионного пучка; J_f - полный ток в диоде; N_v - плотность паровой фазы материала инициатора анодной плазмы; V_i - поток ионов; V_v - поток пара; t_U - длительность импульса напряжения; t_b - длительность импульса тока пучка; t_f - время распыления инициатора анодной плазмы при закорачивании диода анодной плазмой; Δt - время задержки между окончанием импульса полного тока в диоде и моментом прихода паровой компоненты на подложку; t_1 - начало следующего импульса напряжения и тока пучка. $\cdots \cdots \cdots$ - ионы; $\circ \circ \circ \circ$ - паровая компонента материала инициатора анодной плазмы. $\circ \rightarrow$ - паровое осаждение на подложку; $\cdot \rightarrow$ - ионное облучение.

напыления и ионного облучения для перемешивания компонент. Для реализации этих режимов необходимы соответствующие источники ионов и устройства для перемещения подложки под источник ионов и потока паров исходных материалов, что ограничивает технологические возможности. При применении же в качестве источника взрывоэмиссионного ионного диода, мы получаем напыление пленки с одновременным ее ионным облучением, т.е. получаем ионное перемешивание компонент непосредственно во время процесса напыления.

В третьей части главы III приводятся результаты по разработке установки для напыления пленок ВТСП.

Соединения $Y-Ba-Cu-O$ и $Bi-Sr-Ca-Cu-O$ представляют собой многокомпонентные соединения со слоистой структурой "перовскитного" типа с кислородным дефицитом. Одна из важнейших проблем известных физических методов напыления состоит в том, что состав пленки может значительно отличаться от состава исходной мишени, и получение стехиометрического состава пленки вызывает существенные экспериментальные трудности. Пленки лучшего качества получают методом лазерного напыления, в котором используется эффект конгруэнтной абляции - взрывного испарения молекул материала под воздействием импульса лазерного излучения и последующая конденсация на подогретую подложку. При этом осуществляется точный перенос компонентного состава мишени на пленку.

Далее обосновывается применение вакуумного взрывоэмиссионного диода для напыления пленок ВТСП. Анализ поверхности высокотемпературных сверхпроводников показывает наличие гранулированной структуры, которая имеет естественные более-менее регулярные микронеоднородности и может быть использована для формирования анодной плазмы. Для исследования этих материалов в качестве взрывоэмиссионного эмиттера была разработана серия анодов на основе этих материалов. При длительности импульса $t_{имп} \sim 100 + 300$ нс время формирования анодной плазмы составляет $\sim 10 + 50$ нс в зависимости от материала инициатора. Взрывной характер испарения вследствие разогрева микроострий анода за такое короткое время, много меньше, чем время протекания процессов термической диффузии, обеспечивает вылет из мишени-анода вещества в том же составе, что и мишень, что позволяет решить одну из основных проблем изготовления многокомпонентных ВТСП - пленок - точный перенос

компонентного состава мишени на подложку.

Бомбардировка подложки ионами материала инициатора способствует хорошей адгезии пленок. Между пленкой и основой образуется область переменного состава не в результате обычной диффузии, а вследствие проникновения вглубь подложки ионов. Ионы, осаждаясь на подложку, образуют компактный плотный слой с отличной адгезией к основе. Благодаря этому пленка хорошо "сцепляется" с подложкой, что в случае ВТСП дает возможность получать прочные пленки на различных типах подложек.

При проникновении в материал ионов диссипация их энергии сопровождается разогревом, поскольку вся энергия ионов выделяется в тонком слое, толщиной порядка глубины их пробега.

В случае напыления ВТСП - покрытий возможен разогрев подложки и пленки до $400 + 600$ °С (в зависимости от напряжения на диоде и материала подложки), что благоприятно сказывается на процессе формирования кристаллической структуры пленки.

Обратная сторона процесса дефектов, образованных ионным облучением - падение критической температуры сверхпроводящей пленки, поэтому для снятия этих дефектов и получения приемлимых значений T_c необходим высокотемпературный отжиг при температурах выше 900 °С для иттриевых покрытий и температурах ~ 800 °С для висмутовых покрытий.

Четвертая глава посвящена применению ионного диода в экспериментах по получению пленок и модификации поверхности ионными и электронными пучками.

Получение ВТСП пленок.

Напыление ВТСП пленок проводилось при напряжении на диоде 200 + 300 кВ, энергозапасе генератора импульсного напряжения Аркадьева - Маркса 50 + 125 Дж, длительности импульса напряжения 200 + 500 нс, частоте следования импульсов 0.2 Гц. Подложки помещались за катодом, представляющим собой металлическую сетку с коэффициентом прозрачности ~ 0.6 . Скорость напыления пленок $Y-Ba-Cu-O$ составила ~ 0.1 мкм / имп и пленок $Bi-Sr-Ca-Cu-O$ до 0.5 мкм/имп. В качестве подложек использовались титанат стронция, зеленая фаза Y_2BaCuO_5 , кремний.

Элементный анализ пленок электронным зондом с полупроводниковым спектрометром рентгеновского излучения показал, что стехиометрия мишени переносится на подложку с точностью до 90 %. Структурные исследования

пленок после напыления показали, что пленки Y-Ba-Cu-O представляли собой смесь аморфной и тетрагональной фаз, пленки Bi-Sr-Ca-Cu-O были полностью аморфными. Их электрическое сопротивление составляло от 50 Ом до 1 кОм. Этот результат легко объяснить частичной аморфизацией пленок ионным облучением.

Для формирования кристаллической структуры необходим высокотемпературный отжиг, и для формирования ортофазы - низкотемпературный (400 + 500 °C), поэтому пленки после напыления отжигались в кислородной среде. На рис.3 приведены зависимости сопротивления от температуры двух пленок Y-Ba-Cu-O на подложках из SrTiO₃, а на рис.4 - зависимость сопротивления от температуры пленки Bi-Sr-Ca-Cu-O на кремниевой подложке и соответствующая зависимость для исходной мишени.

Получение пленок с ионным перемешиванием.

Получение пленок с ионным перемешиванием было проведено на примере пленок титана на алюминии и алюминия на бериллии. На рис.5 приведено распределение концентрации Ti, Al и O (кривые 1, 2, 3) по толщине пленки, напыленной в режиме без закорачивания диода анодной плазмой. При этом напряжение на диоде составляло 250 кВ, ток пучка ионов ~ 10 А/см², длительность импульса ~ 300 нс. При частоте работы диода 1 Гц время напыления составляло 5 сек. Из рис. 5 видно, что наблюдается ионное перемешивание.

Результаты экспериментов показывают, что при напылении пленок в ионном диоде наблюдается перемешивание нерастворимых элементов Ti в Al с помощью импульсного ионного пучка во время напыления. Таким образом, ионное перемешивание позволяет получить новый конструкционный материал: алюминий с титановой пленкой.

Напыление пленки Al на Be фольгу проводилось при следующих параметрах ионного диода: U ~ 250 кВ, j_{Al} ~ 5 А/см², t_и ~ 300 нс, t = 10 с, f = 1 Гц. В диссертации также приводятся микрофотографии полученной фольги до ее работы в качестве выпускного устройства в электронном ускорителе в пучке E=100 кэВ, j=2.5 мА/см², и t=1 час.

Модификация пленок, полученных в ионном диоде, импульсным сильноточным электронным пучком.

При облучении импульсным пучком электронов с плотностью тока

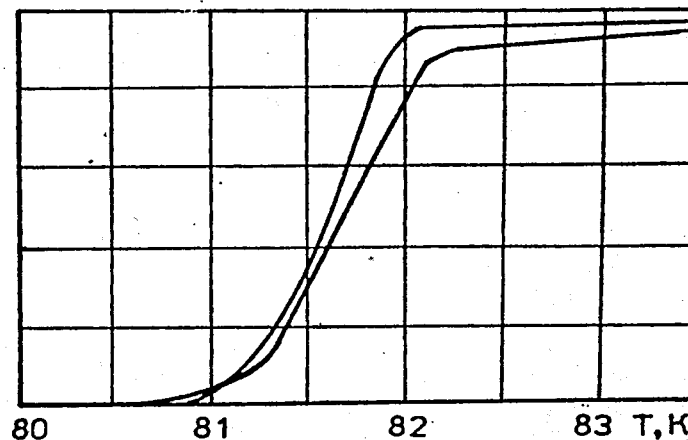


Рис.3. Зависимость электрического сопротивления от температуры для пленок Y-Ba-Cu-O.

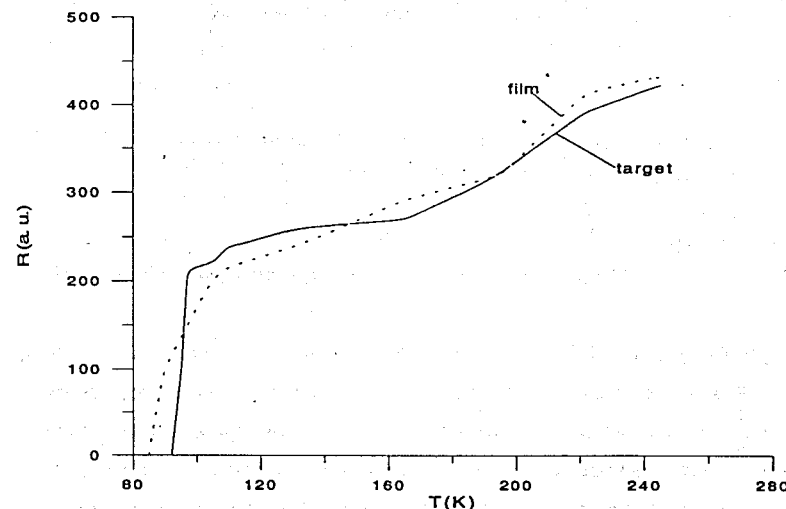


Рис. 4. Зависимость электрического сопротивления от температуры пленки Bi-Sr-Ca-Cu-O и соответствующей мишени.

— мишень
- - - пленка

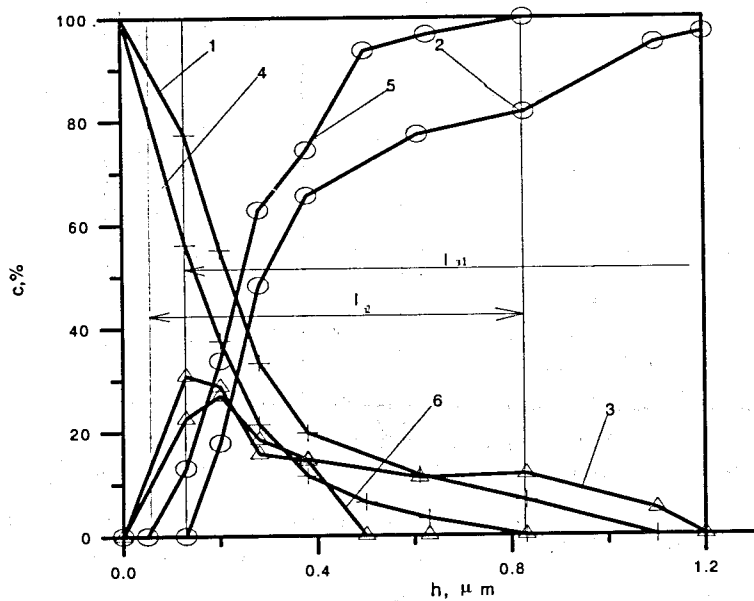


Рис.5. Распределение концентрации Ti, Al и O по толщине пленки, полученной в режиме без закорачивания диода анодной плазмой.

1 - Ti (+); 2 - Al (o); 3 - O (Δ).

Модификация ионами Ti.

4 - Ti (+); 5 - Al (o); 6 - O (Δ) - модификация импульсным пучком электронов.

пучка электронов $j_e \sim 1000 \text{ A/cm}^2$ и кинетической энергией $200 \div 300 \text{ кэВ}$, $t_H \sim 300 \text{ нс}$ структур после их напыления с ионным перемешиванием, величина расчетного разогрева вследствие взаимодействия электрического поля заряда с электронами атомов вещества, в несколько раз превышает температуры плавления пленок в рассматриваемых структурах. Следовательно, реализуется адиабатический нагрев образца до температуры, превышающей температуру плавления компонент, что может привести к качественным изменениям полученных структур.

Для улучшения качества поверхности пленки (уменьшения размера зерен и капель) были проведены облучения этих пленок импульсным электронным пучком с кинетической энергией 250 кэВ , плотностью тока 700 A/cm^2 и длительностью импульса $\sim 300 \text{ нс}$. Результаты экспериментов наглядно

демонстрируют, что импульсное электронное облучение улучшает качество поверхности пленки и осуществляет дополнительное перемешивание Ti в Al.

Эксперименты по облучению поверхности высокотемпературных сверхпроводников с целью модификации их физических свойств..

В представленных в диссертации экспериментах $\tau_{\text{имп}}=300 \text{ нс}$, а $\tau_p \sim 1.06 \cdot 10^{-5} \text{ с}$ для керамики типа $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ и $\tau_p = 2.03 \cdot 10^{-5} \text{ с}$ для керамики типа $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$, т.е. выполняется условие $\tau_p \gg \tau_{\text{имп}}$, где $\tau_p = \frac{2R^2\rho c}{\lambda}$ и R -

глубина пробега частиц; ρ , c , λ - плотность, удельная теплоемкость и удельная теплопроводность облучаемого материала. В этом случае выполняется условие адиабатичности процесса и градиент температуры можно представить в упрощенном виде: $\Delta T = \frac{W\tau_{\text{имп}}}{Rc\rho}$.

Отсюда можно оценить пороговую плотность мощности электронного пучка, приводящую к расплавлению ($\Delta T = T_{\text{пл}}$). Для $\text{Y}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ она равна $P = 1 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$, для $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_8$ - $4 \cdot 10^6 \text{ Вт/см}^2$. В представленных экспериментах плотность мощности пучка электронов составила $P = j_b \cdot U = 2 - 2.5 \cdot 10^8 \text{ Вт/см}^2$. Таким образом, при облучении ВТСП сильноточным электронным пучком происходит перенос большой энергии за один импульс и выделение ее в облучаемом веществе за очень короткий интервал времени, определяемый длительностью импульса тока пучка, значительно меньшей тепловой постоянной, в результате чего происходит сильный адиабатический нагрев, приводящий к расплаву слоя образца, определяемого глубиной пробега R.

На рис.6 приведены результаты по изменению зависимостей интегрального сопротивления от температуры для различных доз облучения висмутовых образцов, а на рис.7 - зависимость изменения критического тока ВТСП от флюенса для различных типов образцов. Данные рентгеновской дифракции показывают, что кристаллическая структура образцов после облучения практически не изменилась, т.е. произошла рекристаллизация из расплава в орторомбическую фазу. Микрофотографии, сделанные сканирующим растровым электронным микроскопом, показывают, что до облучения образцы представляли собой неупорядоченную среду, состоящую из множества гранул со средним размером $\sim 10 \text{ мкм}$. После облучения сильноточным электронным пучком отчетливо видно спекание гранул и образование новых формаций, с характерным размером уже порядка 100 мкм .

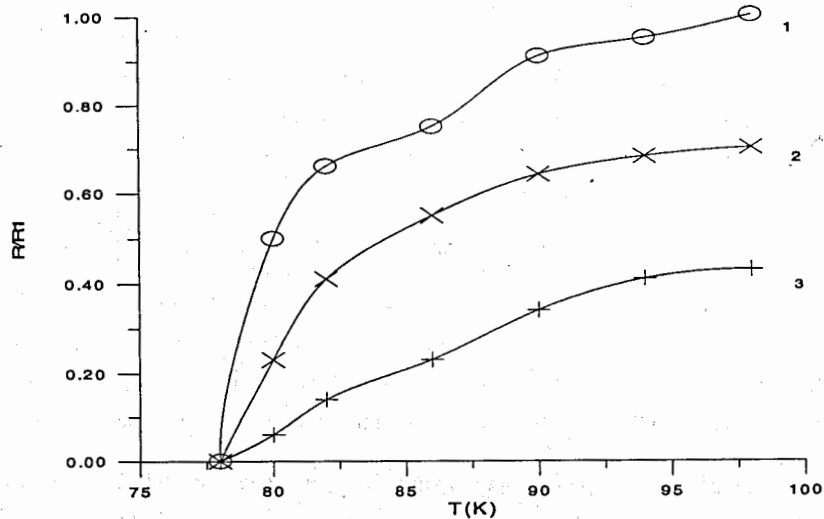


Рис. 6. Зависимость относительного изменения сопротивления от температуры для висмутовых образцов до облучения (1) и после облучения 10 импульсами (2) и 20 импульсами (3) электронных пучков.

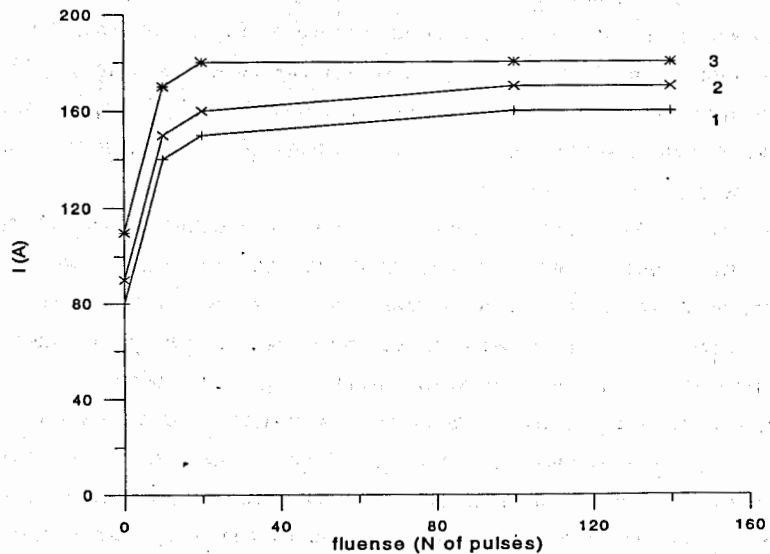


Рис. 7. Зависимость изменения критического тока ВТСП от флюенса электронного облучения для трех типов керамик.

Таким образом, облучение ВТСП сильноточным электронным пучком не меняет критической температуры, но уменьшает сопротивление в нормальном состоянии, а критические токи использованных в экспериментах образцов несколько увеличились и при дальнейшем облучении не менялись. При плотности мощности электронного пучка недостаточного для проплава, изменения критического тока не наблюдалось.

Полученные результаты могут быть полностью объяснены моделью, в которой высокотемпературный сверхпроводник представляет собой совокупность сверхпроводящих зерен, соединенных слабыми связями - джозефсоновскими мостиками с набором i_c критических токов. В представленных экспериментах при проплаве гранулы размером ~ 10 мкм спекаются, и образуются новые формирования размером ~ 100 мкм. В результате количество слабых связей уменьшается и, следовательно, растет критический ток и уменьшается электрическое сопротивление.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

Основные результаты диссертационной работы.

1. Разработан и исследован взрывоэмиссионный вакуумный диод, в котором исследованы режимы ионного перемешивания пленок с подложками в процессе напыления, и получены пленки нерастворимых друг в друге элементов.
2. Предложены и разработаны инициаторы анодной плазмы для напыления многокомпонентных пленок.
3. Исследованы режимы работы взрывоэмиссионного вакуумного диода для получения ВТСП пленок.
4. Исследован вопрос увеличения критического тока ВТСП облучением импульсным сильноточным электронным пучком. Создано устройство для импульсного измерения критических токов ВТСП.

Основные результаты диссертации описаны в работах:

1. Корнев С.А., Сиколенко В.В., Валентович Д. *Электрические характеристики покрытия из иттриевой керамики, полученного ионным напылением* I Всесоюзное Совещание по высокотемпературной сверхпроводимости, Сб. докладов, Харьков, 1988, т.1, стр. 16
2. Корнев С.А., Сиколенко В.В., Штанько С.П. *Электрические характеристики пленок высокотемпературных сверхпроводников Bi-Ca-Sr-Cu-O, полученных методом взрывоэмиссионного диода* II Всесоюзная

конференция по высокотемпературной сверхпроводимости. Тезисы докладов. Т. 2, стр. 297-298. Киев, 1989

3. Korenev S.A., Sikolenko V.V., Chernakova A. *Experimental Studies of Effect of High Current Pulse Electron and Carbon Ions Beams on High Temperature Y-Ba-Cu-O and Bi-Ca-Sr-Cu-O superconductors*. Physical Research, 1989, v. 13, p. 480-485

4. Корнев С.А., Сиколенко В.В., Алтынов В.А., Чернакова А. *Экспериментальное исследование воздействия сильнотоочных пучков электронов и ионов углерода на высокотемпературные сверхпроводники Y-Ba-Cu-O, Bi-Ca-Sr-Cu-O* Сообщение ОИЯИ Р-14-89-462

5. Korenev S. A., Sikolenko V. V. *Experiments on High Current Pulse Electron Beam Irradiation of High Temperature Superconductors Y-Ba-Cu-O and Bi-Ca-Sr-Cu-O*. Progress in HTSC 1989, v. 21, p.139-141

6. Корнев С.А., Сиколенко В.В. *Импульсный метод измерения критического тока высокотемпературных сверхпроводников* Сообщения ОИЯИ Р13-93-471

7. Корнев С.А., Сиколенко В.В., Балалыкин Н.И., Орелович О.Л., Широков Д.М. *Напыление пленок с ионным перемешиванием в импульсном взрывозмиссионном ионном диоде* Приборы и техника эксперимента, 1995, №3, стр. 183-190

8. Корнев С.А., Малахов Н.А., Пиляр Н.В., Распопина Е.В., Сиколенко В.В., Ярадайкин С.П. *Влияние импульсного электронного и ионного облучения на электрические характеристики пленок из высокотемпературных сверхпроводников Y-Ba-Cu-O, Bi-Ca-Sr-Cu-O, полученных в импульсном ионном диоде* XXX Совецание по физике низких температур. Тезисы докладов. Ч. 1, стр.148. Дубна 1994

Рукопись поступила в издательский отдел
3 ноября 1995 года.