

отрицательных и поляризованных ионов, применение ионных источников (пучков) в технологии.

В разделе, посвященном разрядам, большое внимание было уделено анализу колебаний в разрядах различных типов ионных источников, возможным методам их подавления, характеристикам осциллирующих разрядов в однородных и неоднородных магнитных полях. Определенный интерес вызвал доклад по изучению колебаний в осциллирующем разряде источника и их влияния на поперечную расходимость ускоренного пучка ионов (ИАЭ, СССР). Интересно использование полого катода в разряде ионного источника типа дуоплазматрона (Станфорд, США), а также заслуживает внимания источник с осциллирующим разрядом, где магнитное поле создается «спиральным» анодом или катодом (Киотский университет, Япония).

Большая часть докладов по извлечению и формированию пучков была посвящена выполненным с помощью ЭВМ расчетам движения частиц в ионно-оптических системах различных типов для анализа фокусировки пучков, оптимизации характеристик многоэлектродных ускоряющих систем, достижению необходимых плотностей тока эмиссии ионов [LBL, Sandia Laboratories (SL); LLL, США; Калэм, Англия]. Сравниваются результаты численных экспериментов на ЭВМ с экспериментальными данными, полученными в реальных многопертурных ионно-оптических системах (ИАЭ, СССР). Рассмотрены системы с доускорением ионов (Калэм, Англия). Применение таких систем позволяет сохранить постоянную плотность тока эмиссии ионов независимо от конечной энергии ионов пучка. Интерес вызвал анализ характеристик вторичной плазмы, образованной интенсивным пучком быстрых ионов в перезарядной мишени инжектора, ввиду влияния плазмы на транспортировку пучка (ИАЭ, СССР).

При рассмотрении новых типов ионных источников был представлен доклад по трем методам коллективного ускорения ионов с помощью релятивистских электронных пучков (SL, США). Создаваемый ими движущийся потенциальный рельеф обеспечивает ускорение и фокусировку пучка ионов более 100 А с длительностью 1 нс. На шестиступенчатом холловском ускорителе (Калэм, Англия) получен поток ионов до 10 А при ускоряющем напряжении 20 кВ, т. е. существенно выше, чем в двухступенчатой системе. Около 70% мощности выходного пучка находится в пространственном угле $\pm 10^\circ$, что значительно хуже результатов, полученных на современных ионных источниках.

В разделе, посвященном высокопоточным ионным источникам, был заслушан ряд докладов об источниках без внешнего магнитного поля (LBL, LLL) и дуоплазматроне (ORNL), а также о разработках подобных источников в Европе для инжекторов установок типа токамака (Франция, Англия) и стелларатора (ФРГ). Кольцевой дуоплазмотрон, разрабатываемый в Фонтене-о-Роз (Франция), обладает определенными достоинствами (высокой степенью однородности тока эмиссии ионов). Привлек внимание источник с радиальным разрядом (ИАЭ, СССР), работающий в магнитном поле остроугольной конфигурации и имеющий большую поверхность эмиссии ионов, с системой ускорения ионов поперек магнитного поля.

Среди докладов об источниках отрицательных ионов наибольший интерес вызвало сообщение о поверхностно-плазменном источнике отрицательных ионов водорода (ИЯФ СОАН СССР). С помощью этого источника достигнут ток 0,88 А длительностью 1 мс при энергии 15–20 кэВ.

Определенный интерес представляет инжектор поляризованных ионов H^- для LAMPF (Лос-Аламос, США). Ток ионов H^- , полученных перезарядкой положительных ионов на цезиевой мишени, достигает 0,1 мА при энергии 750 кэВ.

В разделе технологии рассматривалось создание ионных пучков микронных диаметров с большой яркостью для анализа поверхностей, их обработки, производства полупроводниковых приборов (энергии ионов 25–200 кэВ, яркость до 10^6 А/(см²·рад²·кэВ), а также создание пучков с большими поперечными сечениями для ионного травления, получения покрытий с помощью катодного распыления, изменения физических свойств поверхностей (энергии ионов 1–5 кэВ, токи пучков — десятки доли ампера). Для создания или нанесения пленок рассмотрен кластерный ионный источник с испарением металлов (в частности, меди и свинца). Представлены некоторые технологические аспекты ионных двигателей (Lewis Research Center) диаметром до 30 см, сроком службы до 10 тыс. ч. Рассмотрен нейтронный генератор, состоящий из двух ионных источников типа дуоплазматрона. Создаются два пучка смешанных ионов дейтерия и трития, которые применяются на медной мишени, покрытой хромом (энергия ионов 170 кэВ, общий ток до 300 мА, выход нейтронов достигает $6 \cdot 10^{12}$ с⁻¹).

СЕМАШКО Н. Н.

Конференция по прикладной сверхпроводимости

С 30 сентября по 2 октября 1974 г. в Оукбруке проходила 5-я Национальная конференция США по прикладной сверхпроводимости. В работе конференции приняли участие более 650 ученых, инженеров и представителей фирм, среди них 67 иностранных ученых. В советской делегации было девять человек.

Представленные на конференцию доклады можно условно объединить по следующим темам: сверхпроводящие материалы; сверхпроводящие магнитные системы; сверхпроводящие электромашины; сверхпроводящие линии электропередачи; транспорт на магнитной подушке; прикладные аспекты слаботочной сверхпроводимости (приборы на основе джозефсоновских контактов, сверхпроводящие детекторы излучения, устрой-

ства памяти, микросхемы, сверхпроводящие резонаторы). Наряду с традиционными обзорными докладами и сообщениями о конкретных разработках были изложены программы развития отдельных направлений прикладной сверхпроводимости в США и приведены объемы финансирования этих программ.

Современные взгляды деловых кругов на роль прикладной сверхпроводимости наиболее откровенно были выражены директором Электроэнергетического института М. Рабиновичем. По его мнению, прикладная сверхпроводимость уже стала коммерческой отраслью. В связи с этим институт намерен финансировать проекты промышленного использования сверхпроводящих устройств, не допуская конкуренции отдельных фирм,

и надеется, наоборот, объединить их усилия для наиболее быстрого и дешевого решения задач. Например, предлагается, чтобы конкурирующие сейчас фирмы «Вестингауз» и «Дженерал электрик» общими усилиями соорудили сверхпроводящий электрогенератор мощностью 100 МВА, предназначенный для работы в энергосистеме в качестве синхронного компенсатора. После этого институт может начать финансирование электрогенераторов мощностью 500 МВА, которые могли бы соперничать с традиционными электромашинами. Новое отношение к прикладной сверхпроводимости проявилось и в том, что Электроэнергетический институт и промышленные фирмы начали ограничивать финансирование научных исследований и расширять финансирование промышленных проектов, полагая, что сверхпроводимость должна уже приносить доходы.

Такому узкопрактическому подходу противостояла КАЭ США, имевшая наиболее широкие научные программы разработки сверхпроводящих материалов и применения сверхпроводящих устройств в атомной науке и технике. КАЭ финансировала создание новых сверхпроводников, исследование туннельного эффекта и теплопроводности слоистых сверхпроводников на основе соединений молибдена и серы, нейтронные, мессбауэровские и ЯМР-исследования, сверхпроводников, поиски экситонного механизма сверхпроводимости, исследование электрон — фотонного взаимодействия. На эти работы в 1974—1975 финансовом году выделено 3 млн. долл. Подробно разработаны программы применения сверхпроводящих магнитных систем для получения управляемой термоядерной реакции и для физики высоких энергий.

Применение сверхпроводящих магнитных систем планируется во всех трех направлениях возможного промышленного использования термоядерной энергии к концу 90-х годов этого столетия: в установках типа токамак, θ -пинч и открытых ловушках. Считая сверхпроводящие магнитные системы одним из определяющих компонентов промышленных термоядерных реакторов, КАЭ выделила на их разработку около 100 млн. долл. Целью шестилетней программы (июль 1973 г. — июнь 1979 г.) является решение основных материаловедческих и конструкторских проблем крупных сверхпроводящих магнитных систем к 1980 г., т. е. к моменту окончательного определения типа установки, которая будет разрабатываться в качестве демонстрационного термоядерного реактора. Эта программа предусматривает широкое вовлечение существующих научных коллективов и привлечение промышленного сектора, без организации какого-либо нового центра.

Около 5 млн. долл. намечено израсходовать в 1974 г. на применение сверхпроводимости в физике высоких энергий. Весьма интенсивно ведутся работы над сверхпроводящими ускорителями элементарных частиц. Наряду с разработкой ускорителей рассматриваются проекты замены обычных магнитов на сверхпроводящие в системах разводки пучков в отклоняющих, фокусирующих и анализирующих устройствах. Такая замена должна дать существенную экономию электроэнергии и обеспечить возможность проведения большего числа экспериментов на существующих площадях.

Сверхпроводящие материалы занимали значительную часть программы конференции. Сотрудники Массачусетского технологического института сообщили о новых достижениях в синтезе тройных сульфидов молибдена. Это слоистые соединения, обладающие весьма высокими критическими полями например $Pb_{0,9}Mo_{5,1}S_8$ имеет критическое поле 38 Т. В кулуарах обсуждался новый результат: получен образец

$PbMo_5S_8$ с критическим значением 60 Т в поле, направленном вдоль слоев и 40 Т в перпендикулярном слое поле.

Новым технологическим достижением является возможность получения слоев карбонитрида ниобия толщиной до 2 мкм на углеродных нитях диаметром 7 мкм. Этот материал получен в виде, пригодном для намотки соленоидов. На нити удается наносить медный стабилизирующий слой. Критическая плотность тока в собственном поле достигает $2 \cdot 10^6$ А/см², с помощью обработки тетрахлоридом кремния удается получить достаточно высокие плотности тока и в магнитном поле до 5 Т (10^5 А/см²).

За год, прошедший после получения рекордной критической температуры у соединения Nb_3Ge , сделаны существенные успехи в разработке технологии получения обмоточных материалов на основе этого соединения. Хотя еще не получено ни метра такого материала, однако выяснены основные условия возникновения высокотемпературного сверхпроводника и разработаны технологические методы — катодное распыление, осаждение из смеси паров хлоридов ниобия и германия, — приводящие к получению материала с достаточно высокой критической температурой и высокими критическими токами. Плотности тока в этих материалах при температуре жидкого гелия достигают величин, характерных для лучших образцов из ниобий-олова. Преимущество же нового материала проявляется при повышенных температурах, так при 15 К отдельные образцы обладают критическими характеристиками, подобными характеристикам ниобий-титановых материалов в жидком гелии. Большое количество разнообразных методов разработано для получения обмоточных проводов из других новых интерметаллидов (ниобий-алюминий, ниобий-галлий), однако некоторые исследователи рассматривают эти достижения лишь как полезный технологический опыт, который следует использовать при разработке более перспективного ниобий-германиевого обмоточного провода.

Много внимания уделяется влиянию ядерного облучения на обмоточные провода; эти исследования ориентируются на изучение возможности применения сверхпроводящих обмоток в термоядерных реакторах. Результаты измерений, проведенных на промышленных ниобий-титановых проводах при температурах 330, 37 и 5 К с дозами до 10^{20} нейтр./см², свидетельствуют, что критический ток этих материалов снижается с увеличением дозы, но этот эффект имеет насыщение и соответствует уменьшению критического тока на 15—30%. Одновременно со снижением критического тока из-за увеличения сопротивления меди ухудшается стабильность проводов и портится изоляция. Многие исследователи полагают, что именно стойкость изоляции к облучению определит возможность использования ниобий-титановых магнитных систем в поле облучения. По-иному ведут себя при облучении интерметаллиды. В Брукхейвенской национальной лаборатории исследовано влияние дозы облучения на критические температуры практически всех известных сверхпроводников этой группы. Обнаружено, что критическая температура и поле у всех интерметаллидов снижаются после облучения, причем существует универсальная зависимость от дозы отношения критических температур после и до облучения: критическая температура снижается на 5% при дозе 10^{18} нейтр./см² и на 80% при дозе $5 \cdot 10^{19}$. Критический ток при дозах, превышающих 10^{18} нейтр./см², тоже быстро уменьшается. Такую зависимость критических параметров от дозы связывают с разупорядочением структуры интерметал-

лидов. Свойства интерметаллидов восстанавливаются при кратковременном высокотемпературном отжиге.

Во многих странах ведется разработка многожильных проводов из соединений ниобий—олово и ванадий—галлий в бронзовой матрице. Основными проблемами, решаемыми при их разработке, являются: обеспечение гибкости провода, увеличение коэффициента заполнения сечения провода интерметаллидом, стабилизация провода. Один из путей решения этих проблем заключается в изготовлении достаточно тонких (0,1—0,15 мм) многожильных проволок и скручивании их в провод, пригодный для намотки соленоидов с последующим добавлением стабилизирующих медных проволок и пропитыванием индием. Фирма «Интермагнетик Джeneral» предполагает использовать такую технологию для обмоточного материала магнитных систем термоядерных установок и индукторов электромашин. В крупных магнитных системах, где не требуется круто изгибать проводник, можно использовать провода значительного сечения; например, фирма «Эрко» разработала обмоточный провод сечением около 10 мм², испытания которого проводятся Лоуренсовской лабораторией в Ливерморе (Калифорния). Трудности увеличения коэффициента заполнения связаны с тем, что бронза удовлетворительно деформируется лишь в том случае, если содержит не более 10—14% олова, поэтому коэффициент заполнения сечения провода интерметаллидом не может превышать 20%. Для увеличения количества интерметаллида в проводе ищут способы размещения в сечении провода дополнительного количества олова таким образом, чтобы оно не ухудшало существенно деформируемость провода. Например, богатую оловом бронзу размещают внутри трубчатых ниобиевых нитей, при этом тонкий наружный слой непрореагировавшего ниобия служит диффузионным барьером для олова, не позволяя ему отравлять медную матрицу провода, служащую стабилизатором. Можно также использовать нити не из чистого ниобия, а из закаленного сплава ниобия с 4% олова или размещать сердечник из богатой оловом бронзы на оси провода, где условия для его деформации наиболее благоприятны. Продолжает разрабатываться также способ, предложенный М. Суенага в Брукхейвенской национальной лаборатории и заключающийся в том, что предварительно изготавливается провод с ниобиевыми жилами в медной матрице, а затем он лудится и подвергается гомогенизирующему и реакционному отжигу. Провода стабилизируются медью, которая либо защищается от отравления оловом с помощью танталовых диффузионных барьеров, либо припаивается к готовому проводу. Однако ни один из способов производства еще не освоен промышленностью. До сих пор изготовлено менее десятка малых лабораторных соленоидов из этих многожильных материалов, в большинстве случаев реакционный отжиг материала проводился после намотки соленоида. Наилучший результат пока получен Резерфордской лабораторией высоких энергий: соленоид с внутренним диаметром 30 мм и с внешней ниобий-титановой секцией, создающей поле 6,5 Т, позволил получить 12,2 Т.

С интересом были выслушаны советские доклады о рекордной комбинированной магнитной системе, позволяющей стационарно генерировать магнитное поле 25 Т, об электролитическом методе изготовления стабилизированных сверхпроводящих проводов, применением советской промышленностью (этот доклад привлек внимание еще и тем, что изложенный в нем способ пригоден без каких-либо изменений и для ста-

билизации интерметаллических многожильных проводов), о советской программе в сверхпроводящем электромашиностроении и экранировании магнитных полей с помощью ниобий-оловянных пластин.

Внимание конференции было привлечено к многочисленным неудачным попыткам создания нестабилизированных стационарно-магнитных систем седлообразной формы, предназначенных в основном для использования в сверхпроводящих ускорителях частиц. В такие магнитные системы, созданные в последнее время в США и в различных странах Европы, не удалось ввести ток, превышающий 60—80% расчетного значения. Это новое проявление эффекта деградации связывают со случайными тепловыделениями в обмотке, способными перевести ее в нормальное состояние и имеющими механическую природу. Однозначно причина этих тепловыделений не установлена, их может вызывать растрескивание компаунда, пропитывающего обмотку, пластическая деформация меди под действием пондеромоторных сил. Пока не сделано ни количественных измерений, ни даже оценок этих тепловыделений. Предлагаемые способы борьбы с деградацией заключаются либо в упрочнении обмотки внешними бандажками, либо в улучшении теплоотвода из обмотки. На экспериментальных моделях установлено, что обмотка, предварительно сжатая с силой, превышающей максимальные пондеромоторные усилия, не подвержена деградации. По-видимому, наиболее разочаровывающие результаты получили сотрудники лаборатории им. Энрико Ферми, которые из-за этого явления были вынуждены пересмотреть начатую программу сооружения сверхпроводящих диполов, предназначенных для удвоения энергии существующего ускорителя в Батейвии, и вернуться к исследованиям на коротких экспериментальных магнитах. Тем не менее эта лаборатория имеет серьезные планы преодоления возникших трудностей, что подтверждается высоким темпом исследований: за полгода (с марта по сентябрь 1974 г.) в ней изготовлено и испытано 12 модельных сверхпроводящих диполов.

В прошедшем году произошли две аварии со стационарно-стабилизированными магнитными системами, одна из этих аварий вывела из строя на год магнитную систему Большой европейской пузырьковой камеры. Предполагают, что причиной этих неприятностей, при которых в неожиданном направлении изгибалась шина, которой была намотана магнитная система, или отрывались целые секции обмотки, явились экранирующие токи, существующие в шинах с параллельными нитями внутри. Такая шина ведет себя в магнитном поле как сильнодиамагнитное тело, что следует учитывать при расчете магнитных систем. Радикальный способ борьбы с этим явлением заключается в использовании обмоточных шин с транспонированными сверхпроводящими нитями.

В США серьезно рассматривается предложение использовать в энергетических системах сверхпроводящие накопители энергии для выравнивания колебаний потребления энергии. Сверхпроводящие накопители, снабженные системой конвертер-инвертер, должны быть значительно эффективнее применяемых в настоящее время гидронасосных электростанций, К.П.Д. которых не превышает 67%, и благоприятно отличается от них быстротой реакции и отсутствием необходимости отводить значительные площади под водохранилище. Исследованием этой проблемы занимаются Лос-Аламосская лаборатория и группа ученых в Висконсинском университете, возглавляемая проф. Р. Бумом, которая разработала подробный эскизный проект накопителя

емкостью 10^4 МВт·ч. Выражались надежды, что в 1975 г. будет решен вопрос о финансировании его сооружения.

На конференции обсуждались также программы США, Японии, ФРГ и Канады по разработке транспорта на магнитной подушке, проблемы сверхпроводящих линий электропередач и сверхпроводящего электромагнитостроения.

Значительное время было отведено сверхпроводящему приборостроению с использованием эффекта Джозефсона, сверхпроводящим устройствам памяти и микросхемам. Сообщалось о детектировании ионизирующе-

го излучения с помощью сверхпроводящих пленочных детекторов. Один из таких детекторов представлял собой нанесенную на стекло пленку из индия с оловом толщиной 500 мкм и шириной 1 мкм. Такая пленка при критической температуре и критическом токе с приблизительно 100%-ной эффективностью регистрировала нейтральные атомы и ионы аргона и гелия с энергией от 150 до 800 эВ.

Одна из секций конференции была полностью посвящена сверхпроводящим резонаторам.

КЛИМЕНКО Е. Ю

Очередное заседание Технического комитета 45 МЭК

С 14 по 23 ноября 1974 г. в Риме и Милане проходило 13 заседание Технического комитета 45 МЭК (Международной электротехнической комиссии), который разрабатывает рекомендации по стандартизации в области ядерного приборостроения. Одновременно состоялись заседания подкомитетов (ПК) по реакторной аппаратуре и дозиметрии, а также рабочих групп Комитета и ПК. В заседаниях приняли участие более 75 делегатов из 12 государств Европы, Америки и Азии.

Подведены итоги работы, проделанной за истекший год. Издано шесть публикаций, а с момента создания ТК-45 по 1973 г.—27 публикаций. Среди последних Публикация 340А, которая расширяет основную Публикацию, устанавливающую методы испытаний преусилителей и усилителей, предназначенных для работы с полупроводниковыми детекторами. В частности, Публикация 340А устанавливает методы измерения коэффициента передачи и эффективного значения емкости обратной связи преусилителя.

В Публикации 462 изложены стандартные методы испытаний ФЭУ для сцинтилляционных и черенковских счетчиков, регламентируются методы измерения амплитудных и временных характеристик, характеристик помех, методы измерения изменения характеристик во времени и при изменении загрузки и т. д.

Публикация 460 устанавливает технические требования к портативным геологоразведочным радиометрам со сцинтилляционными детекторами. В ней указаны условия эксплуатации и испытаний, дается перечень параметров, которые должны приводиться в инструкции по эксплуатации.

Общие технические требования, наименования параметров и их определение для радиоизотопных приборов, предназначенных, в частности, для измерения толщин, плотностей, уровней и т. п., регламентируются Публикацией 476. Публикация 498 распространяется на высоковольтные разъемы, используемые в ядерном приборостроении. Она устанавливает основные размеры и конструкцию разъемов, значения основных электрических параметров, а также содержит отечественный высоковольтный разъем.

Публикация 482 устанавливает размеры блоков систем NIM, КАМАК, размеры отечественных блоков, конструкция которых соответствует разделу 5 ОСТ 95 88—73.

Подготовлено дополнение и исправление к Публикации 323, относящейся к диапазонам аналоговых и уровням логических сигналов. Добавление содержит исправленную редакцию разделов 4.2 и 5, которые дополнены токами нагрузки и сопротивлениями нагрузки для цифровых сигналов.

Подготовлен для публикации ряд разделов, пополняющих главу 39 третьего издания Международного электротехнического словаря (на русском, английском и французском языках), которая посвящена измерению ионизирующих излучений с помощью электронных устройств. Эти разделы содержат определение терминов по дозиметрическому и радиометрическим устройствам, а также реакторной аппаратуре.

Несколько документов Центрального бюро (ЦБ), подготовленных ТК-45, были направлены в 1974 г. национальным комитетам для голосования. В их числе документ, устанавливающий характеристики и методы испытаний усилителей постоянного тока [45 (ЦБ) 87]. Два документа относятся к реакторной аппаратуре: 45А (ЦБ) 25 («Радиационные детекторы для оборудования и защиты ядерных реакторов. Характеристики и методы испытаний») и 45А (ЦБ) 26 («Принципы построения аппаратуры для реакторов с водой под давлением»).

ТК-45 начал переводить в рекомендации МЭК стандарты комитета ESONE, регламентирующие принципы и нормы системы КАМАК. В частности, документ 45 (ЦБ) 83, созданный на основе EUR 4100e, определяет внутрикаркасную организацию системы КАМАК.

Во время заседаний были рассмотрены замечания национальных комитетов по большому числу документов Секретариата ТК-45. По итогам обсуждения 12 документов переведено в разряд документов ЦБ в целях распространения среди национальных комитетов для голосования по правилу шести месяцев. Среди них «Организация многокаркасных устройств в системе КАМАК и структура устройства управления каркасом типа А». Этот документ создан на основе стандарта EUR-4600 комитета ESONE. Другой документ стандартизирует размеры и конструкцию 19-дюймовых каркасов для размещения блоков систем NIM и КАМАК.

ТК-45 разрабатывает ряд документов, относящихся к размерам кювет, используемых при работе с радиоактивными веществами, мензурок для жидких сцинтилляторов и радиоактивных проб и пробирок для радиоактивных проб.

Будет распространен для голосования по правилу шести месяцев документ «Многоканальные амплитудные анализаторы. Типы, основные параметры», который базируется на отечественном ГОСТе 16957—71 и содержит наименования и определения ряда параметров амплитудных анализаторов.

В разряд документов ЦБ переведен документ, устанавливающий технические требования к радиометрам аэрозоль, а также несколько документов по реакторной