

Электронные и ионные пучки

УДК 537.533

VIII Всероссийский семинар "Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики"

А. М. Филачев

ФГУП «НПО "Орион" — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

Дан обзор последних достижений в развитии электронной и ионной оптики, отраженных в докладах ведущих отечественных и зарубежных исследователей и разработчиков, которые были представлены на VIII Всероссийском семинаре в Москве в период 29—31 мая 2007 г.

Очередной VIII Всероссийский семинар "Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики" состоялся в Москве 29—31 мая 2007 г.

Семинар организован Государственным научным центром ФГУП «НПО "Орион"» при поддержке научного совета РАН по проблеме "Ускорители заряженных частиц", Научного совета РАН по проблеме "Релятивистская сильноточная электроника и пучки заряженных частиц", Международного общества по оптической технике (SPIE) при участии Объединенного института ядерных исследований и ГНЦ ВЭИ.

Тематика семинара

- Теоретическая электронная и ионная оптика, абберационный анализ электронно-оптических элементов и систем, электронная и ионная оптика интенсивных пучков, компьютерное моделирование электронно-оптических систем.

- Электронно-оптические и ионно-лучевые приборы, устройства и оборудование аналитического и технологического назначения. Электронно-лучевые установки технологического назначения, ионно-плазменное технологическое оборудование, электронно-лучевые трубки, электронно-оптические преобразователи.

- Инжекторы ускорителей заряженных частиц. Электронные пучки в системах электронного охлаждения. Электронные пучки с рекуперацией энергии.

- Проблемы взаимодействия электронных и ионных пучков с веществом. Электронно-лучевые и ионно-плазменные технологии. Электронные методы контроля в технологии производства полупроводниковых структур.

Семинар был посвящен памяти Юрия Марковича Кушнера в связи со 100-летием со дня его рождения. Ю. М. Кушнер — один из основоположников отечественного электронно-оптического приборостроения. С 15 октября 1945 г. он возглав-

лял Особое конструкторское бюро по электронной микроскопии, которое затем вошло в состав Института прикладной физики, стало основой создания Института электронной и ионной оптики, вошедшего впоследствии в НПО "Орион". С его именем связана разработка первых отечественных растровых и отражательных электронных микроскопов, электронографов, технологических электронно-лучевых установок размерной обработки.

На семинаре было представлено около 100 докладов, авторы которых представляют 49 ведущих научных организаций из России, Украины, Белоруссии, Казахстана. Среди участников семинара сотрудники 12 институтов Академии наук России, 10 научных центров и проектных организаций, 16 университетов и технических университетов.

Впервые в рамках семинара организован круглый стол "Компьютерное моделирование и программное обеспечение", на котором было представлено программное обеспечение для компьютерного моделирования электронно-оптических систем, а также физических явлений, связанных с взаимодействием заряженных частиц с веществом.

Участникам семинара были практически продемонстрированы возможности следующих программных продуктов:

- *BEAMETR: automatic measurement of beam size*
S. Babin, M. Machin, A. Martynov
Abeam Technologies, Castro Valley, USA.
- *CHARIOT: electron scattering simulation tool*
S. Babin, S. Borisov, A. Ivanchikov, I. Ruzavin
Abeam Technologies, Castro Valley, USA.
- *Программа "ФОКУС" моделирования аксиально-симметричных электронно-оптических систем*
А. А. Трубицын
ГОУВПО "Рязанский государственный радиотехнический университет", Россия.
- *Программа численного анализа динамической электронно-оптической системы с плазменным эммитером*

О. Н. Петрович, В. А. Груздев

Полоцкий государственный университет, г. Полоцк, Беларусь.

• Программный пакет "MASIM 3D" для электронно-оптического моделирования на основе теории возмущений

Д. Э. Гринфельд

ФГУП «НПО "Орион"», Москва, Россия

М. А. Монастырский, В. А. Тарасов

ИОФ РАН, Москва, Россия

Представленные программы вызвали оживленную дискуссию. Участники семинара сочли это направление работы семинара весьма конструктивным.

• На секции **"Теоретическая и вычислительная электронная и ионная оптика. Компьютерное моделирование"** было представлено около 50 докладов. Уровень большинства работ этого направления очень высок. Выделяются три направления работ:

расчет систем, формирующих интенсивные электронные пучки моделирования;

расчет автоэмиссионных систем;

расчет энерго- и масс-анализаторов высокого разрешения.

Наибольший интерес представили работы В. М. Свешникова **"Численное моделирование интенсивных пучков заряженных частиц на квазиструктурированных прямоугольных сетках"** (Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск) и доклад С. В. Полякова и В. А. Федирко **"Моделирование полупроводникового автокатодного микроузла"** (Институт математического моделирования РАН, и МГТУ "Станкин", Москва).

Повышение требований к точности электронно-оптических расчетов связано с тем, что электронно-оптические приборы и устройства занимают исключительно важное место в технологическом и аналитическом обеспечении нанотехнологий. В этой связи следует отметить работу В. А. Жукова **"Предельное разрешение в FIB при компенсации хроматической абберации"**, в которой показано, что при коррекции одной лишь хроматической абберации с помощью комбинированного электромагнитного зеркала можно получить разрешение порядка 1 нм в аналитическом и технологическом ионно-зондовом приборе с полевой эмиссией ионов (FIB).

По направлению "Электронно- и ионно-лучевые приборы и устройства" следует отметить работу, выполненную в Институте прикладной физики Национальной Академии наук Украины **"Протонный сканирующий микрозонд с интегрированной зондоформирующей системой"** (авторы А. Г. Пономарев, В. А. Ребров, Н. А. Сайко и др.).

Прибор создан на базе электростатического ускорителя "Сокол" с максимальным напряжением 2 МВ. Параметры формируемого ионного пучка, конструкция сканирующей системы с динамическим сдвигом оси пучка и одновременная регистрация сигнала с трех детектирующих устройств: вторичных электронов, обратно рассеянных протонов и характеристического рентгеновского излучения — позволяют проводить неразрушающий локальный элементный анализ исследуемых образцов с высокой чувствительностью.

Как всегда значительные работы представлены коллективом авторов Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна). В работе **"Формирование и устойчивость охлажденных интенсивных пучков в синхротроне при энергии инжекции"** Е. М. Сыресина (ОИЯИ, г. Дубна) и К. Нода (Национальный институт радиологических наук, г. Чибо, Япония) представлены результаты экспериментальных исследований и расчетов формирования и устойчивости высокоинтенсивных охлажденных ионных пучков на специализированном медицинском синхротроне HIMAS.

"Импульсный инжектор позитронов низкой энергии" (авторы В. Ф. Быковский, А. Г. Кобец, Ю. В. Коротаев, В. Н. Павлов, А. Ю. Рудаков, А. В. Сидорин, Г. В. Трубников, С. Л. Яковенко, ОИЯИ, г. Дубна) должен генерировать пучок позитронов с энергией 2—10 кэВ интенсивностью 10^8 — 10^9 частиц в импульсе длительностью менее 300 нс. Относительный разброс по энергии в пучке менее $2 \cdot 10^{-3}$, радиус пучка 0,5 см. В работе обсуждается динамика медленных позитронов в инжекторе и физические эффекты, имеющие место в процессе накопления.

• Значительное количество работ на секции **"Сильноточная электроника"** было посвящено расчету и проектированию СВЧ-систем.

• На секции **"Проблемы взаимодействия электронных и ионных пучков с веществом"** был представлен ряд докладов, посвященных математическому моделированию процессов взаимодействия с веществом.

Из практически значимых работ необходимо отметить работу, представленную сотрудниками НПО "Орион" В. М. Акимовым, Н. Н. Дремовой, С. Н. Якуниным **"Электронно-зондовые методы наведенного тока и потенциального контраста в анализе отказов специализированных интегральных схем считывания и обработки сигналов матричных ИК-фотоприемников"**.

Авторам удалось выявить основные виды дефектов, приводящих к отказам мультиплексоров. Детальный анализ природы возникновения дефектов позволил внести корректировки в технологический процесс изготовления мультиплексоров.

Обзор докладов, представленных на VIII Всероссийском семинаре "Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики", свидетельствует о высоком уровне теоретических работ в области электронной оптики, успешном развитии разработок новых электронно- и ионно-

оптических приборов и устройств для научных исследований и технологий, в том числе нанотехнологий.

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2007 года.

The VIII All-Russian seminar "Problems of theoretical and applied electron and ion optics"

A. M. Filachev

Orion Research-and-Production Association, Moscow, Russia

The review of the basic reports on electron and ion optics is presented in the article, which is devoted to results of the 8-th All-Russian seminar in Moscow on May, 29—31, 2007.

УДК 621.384.6

Формирование и устойчивость охлажденных интенсивных пучков в синхротроне при энергии инжекции

Е. М. Сыресин

Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия

К. Нода

Национальный институт радиологических наук, г. Чибо, Япония

Для формирования интенсивных ионных пучков в синхротронах в качестве одной из наиболее распространенных схем инжекции используется схема с электронным охлаждением и накоплением. Максимальная интенсивность формируемых ионных пучков определяется временем жизни ионов в синхротроне, а также эффективностью их охлаждения и накопления. Формирование высокоинтенсивных охлажденных ионных пучков ограничено развитием неустойчивости, приводящей к значительному снижению времени жизни ионов. В работе обсуждаются результаты экспериментальных исследований и расчетов по формированию и устойчивости высокоинтенсивных охлажденных ионных пучков в синхротронах при энергии инжекции.

Метод электронного охлаждения [1—2], впервые предложенный и реализованный в Институте ядерной физики (г. Новосибирск), позволил использовать технику стекирования, изначально применяемую для накопления частиц в электронных синхротронах, для формирования интенсивных ионных пучков. Для увеличения тока в ионных синхротронах в 5—50 раз, по сравнению с инжекционным током, применяется инжекция с электронным охлаждением и накоплением частиц. Она эффективно используется на накопительных кольцах и в синхротронах, в частности на LEIR [3], ESR [4], COSY [5], HIMAC [6, 7], S-LSR [8].

При многооборотной инжекции новая порция ионов инжектируется в накопительное кольцо с

большим горизонтальным эмиттансом. За счет электронного охлаждения амплитуда бетатронных колебаний инжектированных ионов уменьшается, и в освободившееся пространство запускается следующая порция ионов. Электронное охлаждение обеспечивает автоматическое стекирование ионов, в результате чего их ток растет во времени (рис. 1).

При инжекции равновесная орбита накопленных ионов смещена в горизонтальном направлении на некоторое расстояние относительно септума, и вновь инжектированные ионы совершают бетатронные колебания относительно равновесной орбиты. Минимальный зазор между септумом и равновесной ионной орбитой определяет акцеп-