

УДК 681.7

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ИОННОГО ТОКА В УСКОРИТЕЛЕ ИЛУ-3

© 2011 г. В. И. Нуждин, В. Ф. Валеев, Д. А. Коновалов, В. Ю. Петухов

Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского КазНЦ РАН

Россия, 420029, Казань, ул. Сибирский тракт, 10/7

Nuzhdin@kfti.knc.ru

Поступила в редакцию 07.02.2011 г.

После доработки 16.03.2011 г.

Описаны конструкция малогабаритного устройства регистрации заряженных частиц и система контроля тока ионного пучка. Система содержит несколько датчиков для измерения ионного тока, что повышает информативность и дает возможность визуализации процесса имплантации и контроля параметров пучка ионов, а также позволяет проводить подстройку режимов ионной бомбардировки непосредственно при облучении.

Для обеспечения технологической воспроизводимости процессов обработки материалов пучками заряженных частиц требуется тщательный контроль основных параметров пучка. Одним из наиболее важных параметров при проведении имплантации является плотность потока ионов. Обычно плотность потока ионов определяется по величине ионного тока, проходящего через единицу площади его поперечного сечения.

Однако простое измерение тока зарядов, стекающих с проводящей пластины определенной площади — коллектора, расположенного поперек потока ионов, часто дает неверные результаты. Ошибки в результатах измерения ионного тока вызывает вторичная эмиссия электронов с поверхности коллектора, а также регистрация паразитных заряженных частиц. Такими частицами могут быть как ионы других элементов, близкие по массе и поэтому регистрируемые при сканировании ионного пучка, так и электроны, эмитированные поверхностями элементов датчика в результате ионной бомбардировки.

Вклад от легких заряженных частиц (электронов) подавляется с помощью дополнительной системы [1], которая может быть электростатической, магнитной или их комбинацией. В электростатической системе применяют обычно двух- или трехсеточную конструкцию с приложением к электродам отрицательного потенциала (до нескольких киловольт) от дополнительных источников питания для создания потенциального барьера, препятствующего стоку электронов на коллектор. Сетки, как правило, изготовленные из нержавеющей стали с плотностью ~100 линий/см с прозрачностью ~75% располагаются на расстоянии ~1 мм.

Однако в такой системе при имплантации происходит интенсивное распыление сеток. Полу-

ченные в результате распыления в вакууме $\sim 10^{-3}$ – 10^{-2} Па ионы и электроны в электростатическом поле между сетками достаточно высокой напряженности создают условия для возникновения тлеющего разряда в области сеток [1, 2], что делает практически невозможным корректное измерение ионного тока.

В данной работе приведена конструкция малогабаритного устройства регистрации тока заряженных частиц, в которой влияние вышеуказанных недостатков сведено к минимуму, а также рассмотрена работа разработанной системы контроля ионного тока в ускорителе ИЛУ-3. Система включает несколько датчиков для измерения ионного тока, что повышает информативность и дает возможность визуализации и контроля пучка ионов непосредственно в процессе имплантации.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТОКА ИОННЫХ ПУЧКОВ В УСКОРИТЕЛЕ ИЛУ-3

По принципу действия установка ИЛУ-3 [3] аналогична масс-спектрометру секторного типа с симметричным расположением источника и коллектора ионов относительно магнитного анализатора. Ионы, ускоренные в области ионно-оптической системы источника, попадают в дрейфовую камеру электромагнитного анализатора, после прохождения которой пучки сепарированных по массам ионов фокусируются на заземленной заслонке приемного устройства, снабженной специальным устройством для измерения ионного тока — репером. Электрическая схема установки предусматривает возможность горизонтальной развертки пучка с частотой 8–80 Гц при высоте ~10 см.

В ионном ускорителе ИЛУ-3 заводской комплектации репер состоял из диафрагмы и коллек-

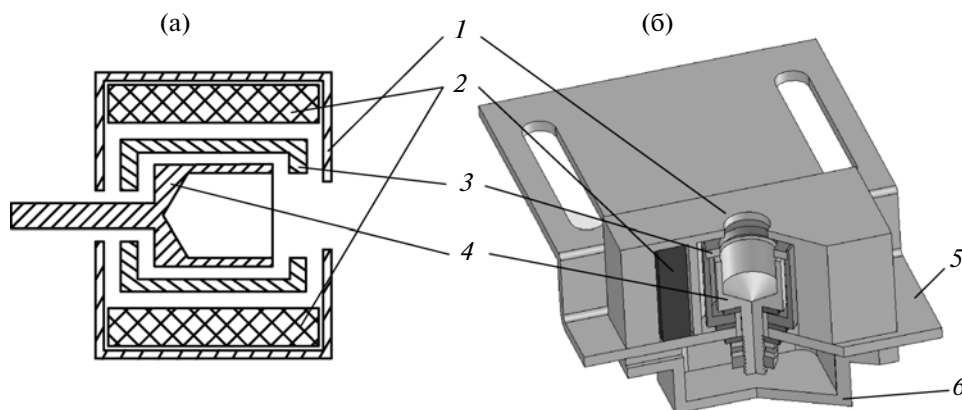


Рис. 1. Схематичный разрез (а) и конструкция (б) устройства для регистрации заряженных частиц. 1 – корпус с входной диафрагмой; 2 – постоянные магниты; 3 – стакан с дополнительной диафрагмой; 4 – коллектор (цилиндр Фарадея); 5 – пластина для установки коллектора; 6 – задняя защитная крышка.

тора. Входной диафрагмой репера являлось квадратное отверстие (1 см^2) в заслонке, а коллектором служила металлическая пластина, закрепленная на заслонке через диэлектрик. По показаниям микроамперметра производился выбор сепарированного по массе ионного пучка, а после включения горизонтальной развертки проводилась настройка необходимого значения тока. Доза имплантированных ионов определялась только по времени, прошедшему с момента открытия заслонки, с помощью секундомера.

При эксплуатации установки выявились следующие недостатки.

- После выбора ионного пучка и включения развертки не исключалась возможность регистрации тока “паразитных”, близких по массе ионных пучков.

- При открытии заслонки имплантация производилась “вслепую”, так как измерение ионного тока прекращалось.

- Ток пучка мог существенно изменяться со временем, что приводило к неточному определению дозы внедренных ионов. Поэтому для подстройки значения тока и проверки возможного смещения пучка ионов при длительной имплантации делались остановки с периодичностью ~ 20 мин.

- Отсутствовала возможность контроля расположения сектора развертки пучка ионов относительно образца.

Описываемая система контроля лишена вышеуказанных недостатков. Это стало возможным благодаря следующим усовершенствованиям.

1. Коллектор выполнен в виде цилиндра Фарадея [1], представляющего собой стакан с внутренним конусным дном с углом при вершине $\sim 120^\circ$. Благодаря такой геометрии дна, вылетевшие из коллектора под действием ионной бомбардировки ионы и вторичные электроны, после ряда соударений со стенками коллектора, оседают на нем.

2. Применено поперечное постоянное магнитное поле с напряженностью ~ 100 Э, которое эффективно изменяет траектории электронов и низкоэнергетичных ионов.

3. В качестве электростатической системы – барьера – использован электрически изолированный металлический стакан с дополнительной диафрагмой (см. рис. 1).

4. В системе контроля ионного тока, кроме настроечного репера на заслонке, под заслонкой дополнительно установлены два основных репера для измерения ионного тока во время имплантации.

5. Изменена электрическая схема измерения ионного тока, благодаря чему появилась возможность визуализировать процесс имплантации, подключив осциллограф.

На рис. 1 а, б показаны, соответственно, схематичный разрез и конструкция разработанного устройства для регистрации заряженных частиц.

Входной диафрагмой 1 для потока заряженных частиц является отверстие $\varnothing 8$ мм, выполненное в верхней крышке корпуса. Внутри корпуса находятся два магнита 2, в магнитном поле которых расположены стакан с дополнительной диафрагмой 3 и коллектор 4. Дополнительная диафрагма выполнена в виде кольца, впрессованного в стакан, внутри которого находится коллектор 4. Коллектор 4 выполнен в виде цилиндра Фарадея, снабжен резьбовой частью и дополнительно выполняет функцию крепежного элемента. Все детали устройства закреплены на пластине 5. Место соединения электрического провода (не показано) к коллектору 4 закрыто задней защитной крышкой 6. Все детали, находящиеся в магнитном поле, выполнены из немагнитных материалов.

Устройство работает следующим образом. Из общего потока заряженных частиц, поступающих из источника ионов, входной диафрагмой вырезается часть пучка с поперечным сечением 0.5 см^2 .

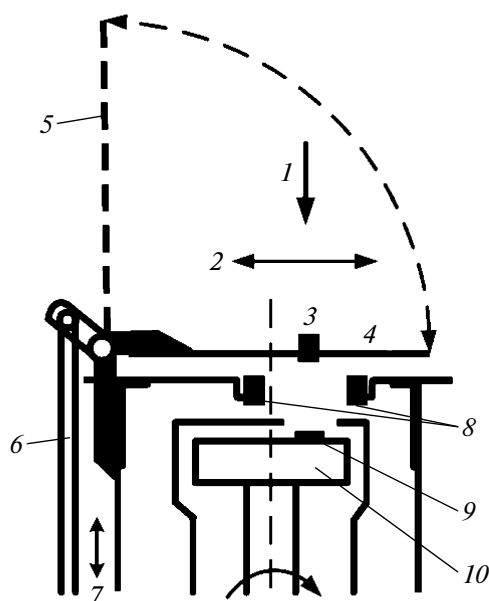


Рис. 2. Схематическое изображение приемника ионов установки ИЛУ-3. 1 – поток ионов; 2 – направление сканирования ионного пучка; 3 – настроечный репер (устройство для регистрации заряженных частиц); 4 – заслонка; 5 – расположение заслонки в положении “открыто”; 6 – рычаг для открывания заслонки; 7 – направление перемещения рычага; 8 – основные реперы (устройства регистрации заряженных частиц); 9 – образец; 10 – столик объектодержателя.

Магнитное поле в области коллектора 4 практически не препятствует попаданию бомбардирующих ионов на коллектор. В то же время низкоэнергетичные заряженные частицы (ионы и электроны), выбитые из корпуса 1 и дополнительной диафрагмы 3, заметно отклоняются от прямолинейного движения, что препятствует их попаданию на коллектор 4. Вторичные электроны, выбитые из коллектора 4 под действием ионной бомбардировки, в магнитном поле также отклоняются от прямолинейного движения и оседают на стенках коллектора.

Для более эффективного возвращения вторичных электронов на коллектор используется дополнительная диафрагма, электрически изолированная от корпуса 1 и коллектора 4. Первоначально часть более высокоэнергетичных электронов, прошедших магнитный барьер, оседает на дополнительной диафрагме, закрепленной на стакане, и таким образом они создают на ней потенциал электростатического барьера без дополнительных источников питания. Так как величина потенциала определяется токами утечки, то он является саморегулирующимся.

Благодаря отсутствию источника питания, в зазорах дополнительной диафрагмы не образуется тлеющий разряд. Это позволило сократить за-

зоры между деталями до ~1 мм и уменьшить габариты устройства.

На рис. 2 показано схематическое изображение приемника ионов модернизированной установки ИЛУ-3.

В модернизированной системе контроля токов пучков заряженных частиц вместо заводского репера используется разработанное устройство для регистрации заряженных частиц – настроечный репер 3 (см. рис. 1), а под заслонкой 4 (рис. 2) установлено еще два таких устройства – основные реперы 8. Крепление устройства регистрации заряженных частиц (см. рис. 1б) позволяет перемещать его по горизонтали, точно устанавливать и фиксировать по обеим сторонам от образца 9 (рис. 2).

Изменена электрическая схема измерения ионного тока. Коллекторы настроечного 3 и двух основных реперов 8 электрически соединены между собой и подсоединены к выводу эталонного резистора, второй вывод которого заземлен. Заряды, собранные на коллекторах, стекают на землю через эталонный резистор, создавая на нем падение напряжения, которое подается на прибор измерения и визуального наблюдения параметров (осциллограф). Горизонтальная развертка осциллографа синхронизирована с разверткой ионного пучка, что позволяет наблюдать изменение тока пучков ионов, попадающих на коллекторы за период сканирования.

Настройка на необходимый пучок ионов производится с включенной горизонтальной разверткой пучка ионов по настроечному реперу 3. Входные диафрагмы основных реперов закрыты заслонкой, и на их коллекторы ионы не попадают – устройства как бы отключены. При изменении тока электромагнита-анализатора на экране осциллографа можно наблюдать весь спектр ионных пучков по массе.

По осциллограмме можно оценить интенсивность “паразитных” пучков близких по массе элементов, количество изотопов и их процентное соотношение.

Измерение дозы имплантации начинается в момент открытия заслонки 4 (перемещение в положение 5). При повороте заслонки на 90° открываются входные диафрагмы основных реперов 8, а настроечный репер 3 автоматически отключается (на коллектор ионы не попадают). При достаточной амплитуде (регулируется) горизонтальной развертки 2 пучок ионов 1, сканируя по образцу 9, поочередно попадает на основные реперы 8, что отображается на экране осциллографа и является гарантией полного облучения образца по горизонтали.

ВЫВОДЫ

Разработана система контроля тока ионных пучков для ускорителей типа ИЛУ. Эта система, наряду с измерением тока в процессе настройки и имплантации, предоставляет возможность оперативной регулировки и визуального контроля ионных пучков, что гарантирует обработку образца по горизонтали и точное определение дозы. Визуальный контроль ионных пучков позволяет подобрать режим имплантации, обеспечивающий бомбардировку нужным элементом, оценить процентное содержание изотопов, определить их количество, тем самым исключив возможность обработки образца “паразитными” ионами (близкими по массе).

Разработанное малогабаритное устройство может найти применение и в других установках, где используются пучки заряженных частиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Козлов А.Н., Смольянинов В.Д., Еремин А.П., Филачев А.М.* // Прикладная физика. 2002. № 3. С. 105.
2. *Ковальский Г.А.* Электрическая плазма в газовом разряде. М.: Изд-во МИРЭА, 1983.
3. Техническое описание ионного ускорителя ИЛУ-3 / М.: Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова, 1968.