

Источник ионов непроводящих твердотельных веществ на основе дуопигатрона.

В.И. Гушенец¹, Е.М. Окс^{1,2}, Э. Гершкович³

¹ Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия.

² Государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Россия.

³ Брукхейвенская национальная лаборатория, США.

Стационарные пучки ионов непроводящих твердотельных веществ (фосфора, бора, сурьмы и др.) нашли широкое применение в полупроводниковой технологии для модификации поверхностных слоев кремниевых пластин [1]. Подавляющее большинство ионных источников промышленных полупроводниковых имплантеров представляют собой ту или иную вариацию систем типа ионный источник Фримана [2,3] или ионный источник Бернаса [4,5], основанных на использовании стационарного разряда с накалимым катодом и осциллирующими в магнитном поле электронами. Отбор ионов, как правило, осуществляется через анод с протяженной эмиссионной щели поперек разрядной системы.

Наряду со стабильностью электрических и масс-зарядовых параметров ионного пучка, одним из главных требований, предъявляемых к ионному источнику, который используется непо-

средственно в производственном процессе, является срок службы. Минимальный срок наработки на отказ не должен быть меньше, чем трехсменный цикл рабочей недели (120-140 часов). Очевидно, что наиболее узким местом с точки зрения ресурса ионных источников такого типа является накалимый катод. Основная причина выхода из строя катода связана с распылением катода обратным ионным потоком и его химической эрозией в условиях высокой температуры и присутствия агрессивных сред.

Источник ионов типа дуопигатрон [6] представляет собой естественное развитие широко известного ионного источника дуоплазмотрона [7] и получил известность в 1960 годах как один из возможных прототипов для генерации сильноточных пучков протонов по программе УТС. В сущности дуопигатрон представляет собой разрядную систему отражательного разряда с

внешней инжекцией электронов. Он содержит двухступенчатую разрядную ячейку. Роль инжектора электронов выполняет катодная ячейка разрядной системы устройства. Вторая ступень представляет собой ячейку Пеннинга с многократной осцилляцией электронов, удерживаемых магнитным полем. Именно здесь и осуществляется эффективная ионизация, отбор ионов и формирование ионного пучка.

Катодная и анодная области разрядной системы дуопигатрона отделены друг от друга так называемым двойным электрическим слоем, конфигурация которого такова, что этой слой дефокусирует обратный ионный поток на катод и тем самым существенно ослабляет влияние этого потока на ресурс катода. Именно этот факт привлек наше внимание для исследования возможности использования принципа дуопигатрона в ионных источниках промышленных полупроводниковых имплантеров.

Результаты проведенных исследований изложены в настоящей статье.

1. ОПИСАНИЕ ИОННОГО ИСТОЧНИКА

Схематичное изображение экспериментального макета исследуемого ионного источника на рис.1. Генератор плазмы ионного источника состоит из трех основных узлов: источника электро-

нов, ячейки Пеннинга и испарительной печи. Для получения электронов используется прямонакальный катод, выполненный из вольфрамовой проволоки диаметром 1.5 мм. Конфигурация и протяженность катода могут варьироваться в зависимости от величины требуемого тока разряда. Внутри ячейки Пеннинга радиальная подвижность электронов ограничивается продольным магнитным полем. Пиковое значение индукции магнитного поля в центре ячейки достигало 400 мТ. В осевом же направлении движение электронов представляет собой многократную осцилляцию в результате их отражения от стенок антикатода и промежуточного электрода. Ячейка Пеннинга была выполнена из плотного графита и покрыта внутри пластинами из молибдена. Промежуточный анод и магнитопровод выполнены единой деталью. Для изготовления промежуточного электрода применялась обычная магнито-мягкая сталь. Теплоотвод в системе обеспечивался за счет плотного механического контакта промежуточного анода с обладающим высокой теплопроводностью медным цилиндром, который, в свою очередь, устанавливался на специальном фланце с масляным охлаждением.

Напряжение для поддержания основного разряда прикладывалось непосредственно между термокатодом и анодом, тогда как потенциал промежуточного электрода устанавливался в результате

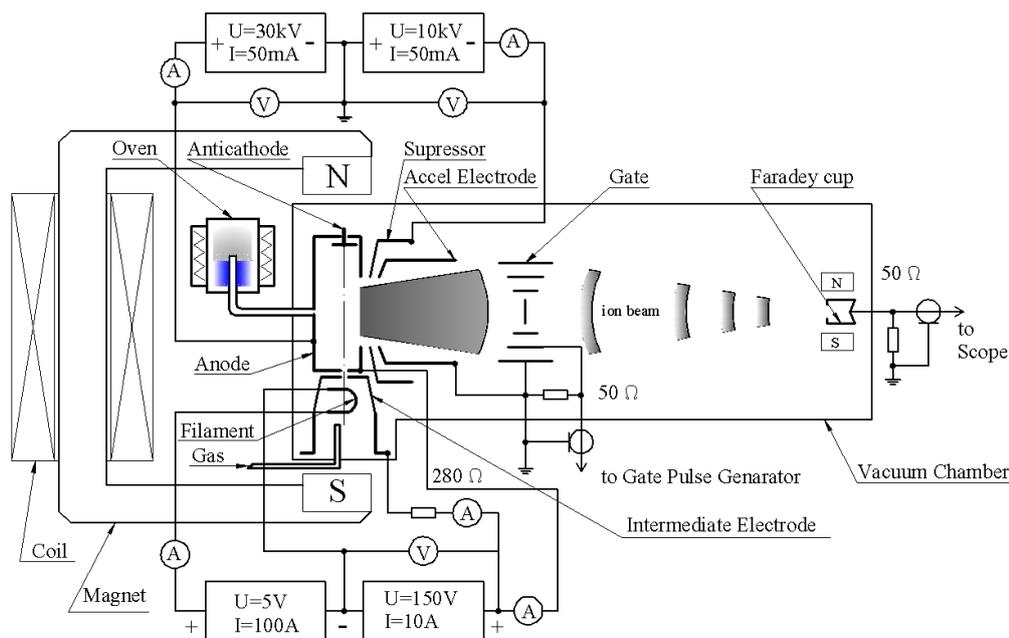


Рис. 1. Схема экспериментального стенда.

установившего баланса токов (авто-смещения) поскольку он был соединен с анодом через резистор 300 Ом. Промежуточный электрод выполнял роль экрана для ослабления магнитного поля в области катода и одновременно он являлся полюсным наконечником, обеспечивающим большую однородность продольного магнитного поля в области анода. Антикатод мог электрически соединяться с катодом или оставаться под плавающим потенциалом.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ИОННОГО ИСТОЧНИКА

В первых экспериментах в качестве рабочего газа применялся аргон. Газ напускался отдельно или одновременно в

катодную и анодную области разрядной системы ионного источника. Работа с аргонем показала, что источник достаточно стабильно функционирует в любой схеме напуска рабочего газа, в том числе и когда газ подавался только в анодную область. Более того, в последнем случае эффективность извлечения ионов (отношение тока эмиссии ионов к току разряда) оказалась намного выше, чем для всех остальных схем напуска газа. Этот результат обусловил и в экспериментах с бором осуществление напуска боросодержащего газового компонента непосредственно в анодную область без дополнительного напуска инертного газа в катодную область разрядной системы исследуемого ионного источника.

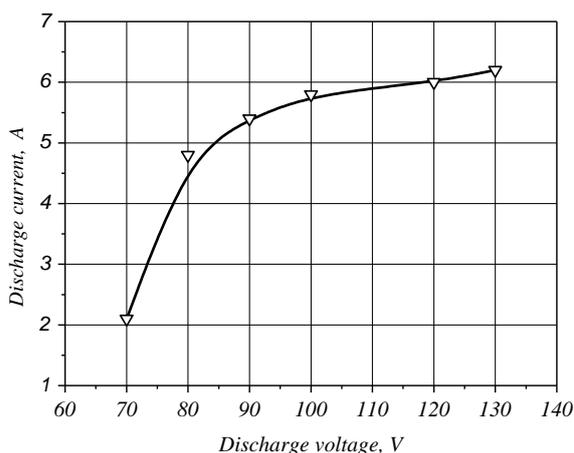


Рис. 2. Вольтамперная характеристика разряда.

Вольтамперная характеристика разряда представлена на рис.2. Видно, что для разряда такого типа свойственна растущая ВАХ. Исходя из характера зависимости напряжения разряда от его тока можно заключить, что в рабочем диапазоне разрядных токов, по крайней мере до величин тока разряда уровня 10 А влияние обратного ионного потока на тепловой баланс термокатода пренебрежимо мало. Об этом свидетельствует и отсутствие в эксперименте перехода от режима свободной эмиссии термокатода к форсированному режиму, когда эмиссионная температура катода определяется уже не подводимой мощностью накала, а процессом нагрева катода обратным ионным потоком из плазмы. Процесс самонакаливания катода представляет со-

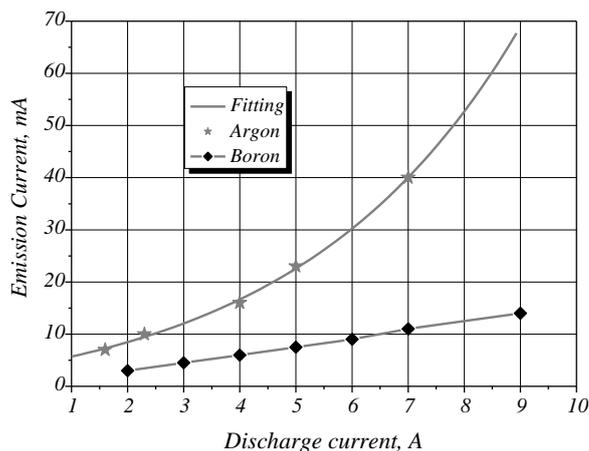


Рис. 3. Эмиссионные характеристики источника.

бой в сущности развитие положительной обратной связи в разрядной системе, приводящее в резкому скачку тока разряда. Однако такой эффект не наблюдался в эксперименте.

Зависимости эффективности извлечения ионов от тока разряда для аргона и борсодержащего газа BF_3 представлены на рис.3. Обратим внимание на тот факт, что в исследуемом ионном источнике эффективность извлечения ионов ниже, чем в широко известных источниках ионов типа Бернас [8]. Только при токе разряда более 6 А и только для аргона эффективность извлечения ионов в исследуемом устройстве достигает более или менее приемлемых значений. Для BF_3 эффективность извлечения ионов намного ниже, чем для аргона. Более тока

Таблица 1.

I_d, A	U_d, V	I_i, mA	$1H^+$	$7Li^+$	$10B^+$	$11B^+$	$19F^+$	$30BF^+$	$49BF_2^+$	$91Mo^+$
6	100	9	4,7%	0,7%	7,1%	53,1%	9,7%	4,2%	14,3%	6,2%

в данном случае наблюдалось сильное влияние потока напускаемого газа на эффективность извлечения ионов. Существует оптимальная величина потока напускаемого рабочего газа при котором эффективность извлечения ионов достигает своего максимального значения.

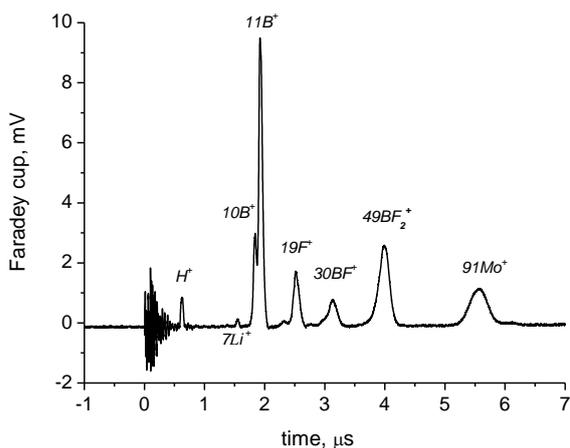


Рис. 4. Масс-зарядовое распределение ионов, извлеченных из дуопигатрона .

На рис.4. представлено масс-зарядовое распределение ионного пучка для случая BF_3 . Процентное содержание основных компонентов ионного пучка вместе с основными характеристиками разряда сведены в таблицу 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальные исследования источника ионов непроводящих твердотельных веществ на основе дуопигатрона выявили положительные свойства такого подхода. Однако они показали и ряд существенных недостатков. В качестве успешных результатов следует выделить большее время жизни

термокатода, возможность устойчивой работы с разрядным током вплоть до 10А, лучшая термостойкость конструкции, которая обеспечила теплоотвод до 1 кВт. Одни из главных недостатков созданного устройства следует признать существенно меньшую эффективность извлечения ионов. Решение данной проблемы, по-видимому, представляет собой задачу дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ziegler James F. Ion Implantation – Science and Technology. Ion Implantation Technology Co., Maryland, USA, 2000. 687 с.
- [2] Freeman J.H. // Nucl. Instr. Meth. 1962. Т. 22. С. 306-309
- [3] Freeman J.H., Chivers D.J., Gard G.A., W. Temple // Nucl. Instr. Meth. 1977. Т. 45. С. 473-480.
- [4] Chavet I., Bernas R. // Nucl. Instr. Meth. 1967. Т. 51. С. 77-80.
- [5] Lempert G., Chavet I. // Nucl. Instr. Meth. 1976. Т. 139. С. 583-590.
- [6] Tsai C.C., Stirling W.L., Ryan P.M. // Rev. Sci. Instrum. 1977. Т. 48. N. 6. С. 651-655.
- [7] Габович М.Д. Физика и техника плазменных источников электронов. М.: Атомиздат, 1972. 304 с.
- [8] Gushenets V.I., Bugaev A.S., Oks E.M. и др. // Rev. Sci. Instrum. 2005. Т. 76. N. 8.