

6. Строительный материал и способ его получения: пат. 2300506 Рос. Федерация, МПК<sup>7</sup> С04В38/02 / Н.А. Меркин, Б.В. Писарев, А.Б. Фащевский; заявитель и патентообладатель Н.А. Меркин, Б.В. Писарев, А.Б. Фащевский – № 2006117011/03; заявл. 17.05.2006; опубл. 21.09.2008.

**Д.А. Голосов<sup>1</sup>, С.М. Завадский<sup>1</sup>, С.Н. Мельников<sup>1</sup>, Xiubo Tian<sup>2</sup>,  
Окодзи Д.Э.<sup>1</sup>, Колос В.В.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Institute of Plasma Surface Engineering & Equipment, School of Materials Science  
& Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China

<sup>3</sup>ОАО «Интеграл», Минск, Беларусь

## **ИОННЫЙ ИСТОЧНИК НА ОСНОВЕ ТОРЦЕВОГО ХОЛЛОВСКОГО УСКОРИТЕЛЯ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ «МЯГКОЙ» ОЧИСТКИ ПОДЛОЖЕК**

### **Введение**

В настоящее время источники ионов находят все большее применение в технологическом оборудовании нанесения тонкопленочных слоев металлов, полупроводников и диэлектриков [1]. В данных установках для предварительной ионной очистки чаще всего используются ионные источники на основе ускорителей с анодным слоем (УАС) [2]. Энергия ионов УАС составляет обычно 300–1500 эВ при плотности ионного тока до 50 мкА/см<sup>2</sup>. Данные ионные источники эффективно производят ионную очистку подложек путем физического распыления тонкого поверхностного слоя обрабатываемой подложки и применяются в технологических установках нанесения оптических, износостойких и декоративных покрытий. Применение УАС в микроэлектронике несколько ограничено из-за значительного воздействия на подложку. Высокоэнергетичная ионная бомбардировка может приводить к появлению дефектов кристаллической решетки полупроводника, ионному распылению и как следствие изменению стехиометрического состава поверхностных слоев. Также из-за нескомпенсированности ионного пучка УАС на поверхности диэлектрических пленок образуется положительный заряд, который может стать источником возникновения электрического пробоя диэлектрика. Особенно это актуально при обработке полупроводниковых пластин со сформированными структурами металл – оксид – полупроводник (МОП).

Анализ показывает, что ионный источник для предварительной ионной очистки полупроводниковых подложек должен обеспечивать не ионное

распыление, а активацию поверхности (формирование на поверхности разорванных связей, которые обеспечивают химическое взаимодействие атомов пленки с атомами подложки). Эффективная активация поверхности достигается при низкоэнергетичной ионной обработке (не более 150 эВ) при больших плотностях тока ионного пучка. Для обеспечения равномерной обработки по площади обрабатываемой поверхности необходимо чтобы ионный пучок имел равномерное распределение плотности тока и энергии по сечению. Обязательное наличие эффективной нейтрализации ионного пучка, что позволяет практически устранить нескомпенсированность ионного пучка.

С этой точки зрения наиболее перспективными являются ионные источники на основе торцевого холловского ускорителя (ТХУ) [3]. Данные ионные источники обеспечивают “мягкую” низкоэнергетичную ионную бомбардировку больших площадей с плотностью ионного тока до  $1,5 \text{ mA/cm}^2$ . Однако данные ионные источники чаще всего используются в процессах ионно-ассистированного нанесения, что предполагает наличие систем охлаждения и использование в качестве источника магнитного поля соленоида, что значительно усложняет конструкцию. Кроме того разрядные и эмиссионные характеристики ТХУ сильно зависят от интенсивности и конфигурации магнитного поля в разрядной зоне [4].

Таким образом, целью работы было разработка и исследование ионного источника на основе ТХУ, который бы имел простую конструкцию и обеспечивал требуемый уровень ионной бомбардировки для предварительной ионной очистки полупроводниковых подложек.

## 1. Эксперимент

Для предварительной ионной очистки полупроводниковых подложек со сформированными МОП структурами разработан ионный источник на основе торцевого холловского ускорителя ЕНРМ-100 (рисунок 1). Поскольку основной задачей данного ионного источника является предварительная ионная очистка подложек, что не требует широкого диапазона рабочих режимов, в качестве источника магнитного поля вместо соленоида применены высокотемпературные Sm-Co постоянные магниты. Применение магнитов с низким дрейфом характеристик при нагреве и кратковременной работы ионного источника позволило отказаться от водяного охлаждения источника. Такая концепция позволила создать сравнительно простую конструкцию, которая легко монтируется и практически не требует обслуживания.

Экспериментальная установка для исследований разрядных и эмиссионных характеристик ионного источника на базе вакуумного поста ВУ-2МП схематично представлена на рисунке 2. Ионный источник устанавливался на днище вакуумной камеры и запитывался от блока питания постоянного тока (300 В, 9,0 А). Для компенсации пространственного заряда ионного пучка использо-

вался накальный компенсатор (катод), который представлял собой проволоку из торрированного вольфрама диаметром 0,5 мм, свитую в виде спирали диаметром 10 мм и шагом 5 мм. Питание компенсатора осуществлялось от источника постоянного тока (30 В, 25,0 А).



Рисунок 1 – Ионный источник на основе ускорителя с анодным слоем ЕНРМ-100

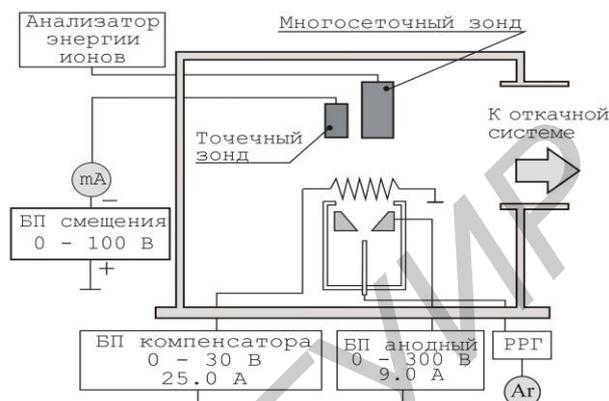


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки для исследования разрядных и эмиссионных характеристик ионного источника

Для измерения плотности ионного тока применялся точечный зонд СР-002 на основе цилиндра Фарадея. Зонд располагался на оси ионного источника на расстоянии 170 мм от анода ионного источника. Для измерения ионного тока на зонд подавалось отрицательное смещение, достаточное для отсекания потока электронов  $U_b = -30$  В. Энергетический спектр ионов определялся методом измерения тормозных характеристик с помощью диагностической системы DENI-1500 с многосеточным электростатическим датчиком.

В ходе экспериментов камера вакуумной установки откачивалась до остаточного давления  $10^{-3}$  Па. В газораспределительную систему ионного источника подавался Ar, поток которого изменялся в пределах 3–30 мл/мин. и контролировался автоматическим регулятором расхода газа РРГ-1. Измерения разрядных характеристик и плотности ионного тока ионного источника производились после начальной приработки ионного источника.

## 2. Результаты и обсуждение

Проведены исследования разрядных характеристик ионного источника ЕНРМ-100 при различной индукции магнитного поля  $B$  в разрядной зоне, которая изменялась в диапазоне от 0,008 до 0,014 Тл путем увеличения объема магнитов. В результате исследований получены вольтамперные характеристики разряда при различном потоке рабочего газа Ar и различном токе накального компенсатора (рисунок 3, 4). Установлено, что ионный источник стабильно работал при потоках рабочего газа 5–35 мл/мин. При этом давление в камере

находилось в пределах от 0,01–0,06 Па. Ток разряда ионного источника достигал 8,0 А. При низкой индукции магнитного поля в разрядной зоне 0,008 Тл и токе компенсатора  $I_c = 15$  А ионный источник работал в низковольтном режиме. Максимальное напряжение разряда не превышало 130 В. С увеличением  $B$  наблюдался некоторый рост анодного напряжения и уменьшение разрядного тока. При увеличении  $B$  до 0,011 Тл напряжение разряда при расходах рабочего газа (до 10 мл/мин) напряжение разряда увеличивалось и достигало 270 В (рисунок 3). Дальнейшее увеличение  $B$  сопровождалось возникновением неустойчивостей разряда. Уменьшение  $I_c$  до 14 А также приводило к увеличению разрядного напряжения при постоянном токе, однако максимальные режимы ионного источника значительно снижались (рисунок 4).

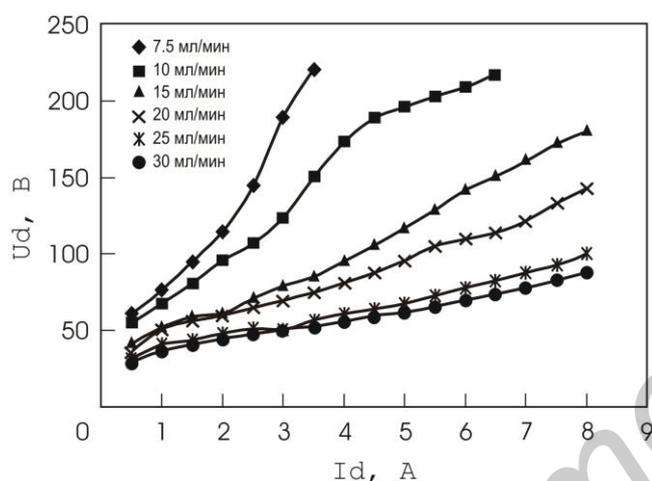


Рисунок 3 – ВАХ разряда ионного источника при  $I_c = 15$  А ( $B = 11$  мТл)

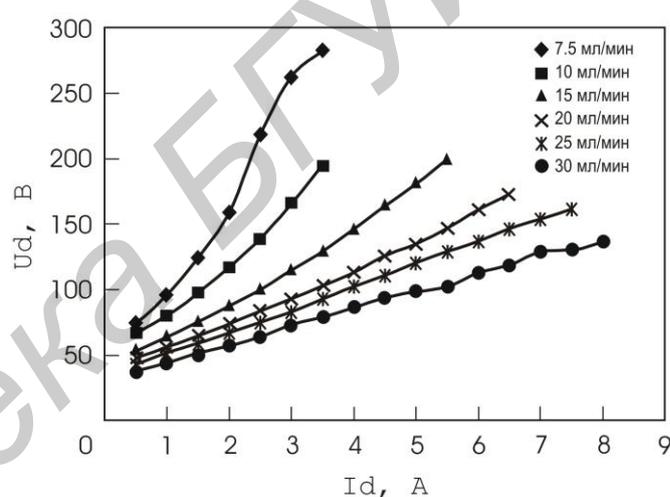


Рисунок 4 – ВАХ разряда ионного источника при  $I_c = 14$  А ( $B = 11$  мТл)

Плотность ионного тока  $J_p$  была прямо пропорциональна току разряда и практически не зависела от потока рабочего газа и тока компенсатора. При токе разряда 7 А получена плотность ионного тока  $1,6$  мА/см<sup>2</sup> (рисунок 5). При увеличении  $B$  выше 0,012 Тл на высоковольтных режимах работы ионного источника  $J_p$  резко снижалась и не превышала  $0,2$  мА/см<sup>2</sup>.

Методом дифференцирования тормозных характеристик исследованы энергетические спектры ионного пучка при различных напряжениях разряда (рисунок 6). Установлено, что средняя энергия ионов составляла величину 0,6–0,85 от напряжения разряда. Степень моноэнергетичности ионов, которая оценивалась как отношение полосы энергетического спектра по уровню 0,3 от максимума энергии ионов (рисунок 6), находилась в диапазоне от 0,25 до 0,65 и уменьшалась при увеличении напряжения разряда. Значительная дисперсия энергии ионов при больших напряжениях разряда, по-видимому, связана с

большим изменением потенциала в разрядной зоне ионного источника, где происходит ускорение ионов [5].

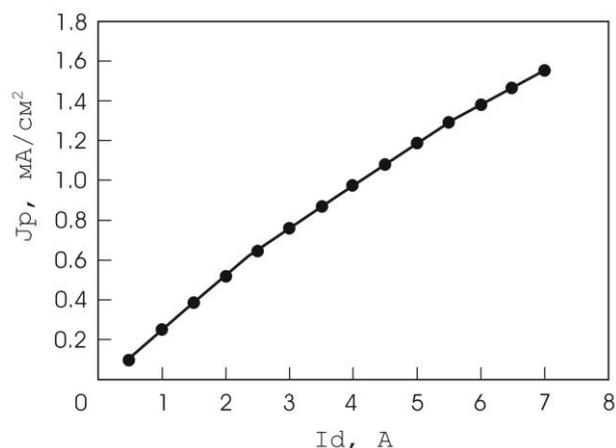


Рисунок 5 – Зависимость плотности ионного тока от тока разряда ионного источника ( $I_c = 14$  А,  $B = 0,011$  Тл)

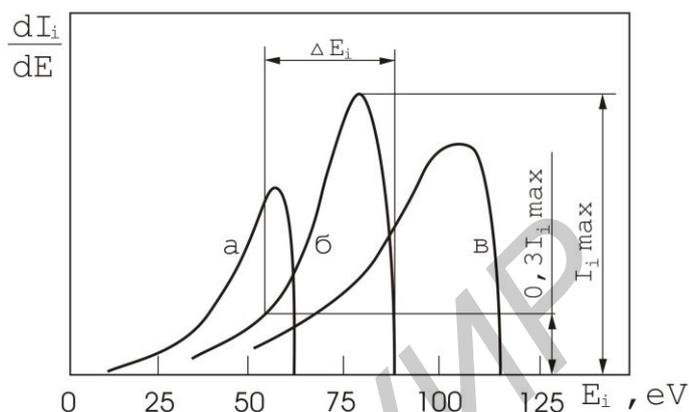


Рисунок 6 – Энергетические спектры ионов, при различном напряжении разряда ионного источника: а – 85 В, б – 100 В, в – 125 В

## Заключение

Разработан ионный источник на основе торцевого холловского ускорителя для предварительной “мягкой” ионной очистки полупроводниковых подложек. Особенностью ионного источника является магнитная система на постоянных магнитах и отсутствие охлаждения. Проведены исследования разрядных и эмиссионных характеристик ионного источника. Установлено, что данный источник обеспечивает низкоэнергетичную ионную бомбардировку с энергией ионов от 30 до 270 эВ при плотности ионного тока до 1,6 мА/см<sup>2</sup>.

## Литература

1. Anders, A. Plasma ion sources in large area coatings: A review / A. Anders // Surface and Coatings Technology. – 2005. – Vol. 200. – Issues 5–6. – P. 1893–1906.
2. Konuma, M. Film Deposition by Plasma Techniques / M. Konuma. – Berlin : Springer-Verlag, 1992. – 224 p.
3. Kaufman, H.R. End-Hall ion source / H.R. Kaufman, R.S. Robinson, R.I. Seddon // J. Vac. Sci. Technol. – 1987. – A 5. – P. 2081–2084.
4. Effects of magnetic field gradient on ion beam current in cylindrical Hall ion source / Deli Tang [et al.] // Journal of applied physics. – 2007. – Vol. 102. – P. 123305-1–123305-3.
5. Свадковский, И.В. Ионно-плазменные методы формирования тонкопленочных покрытий / И.В. Свадковский. – Мн.: Беспринт, 2002. – 214 с.