

УДК 539.1.03

Е. С. Косов, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ПОВЫШЕНИЕ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОННЫХ И ИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ

Рассматривается возможность повышения плотности мощности в устройствах электронной и ионной оптики на основе линейно протяженного источника заряженных частиц и аксиально-симметричного магнитного фокусирующего поля.

Ключевые слова: прецизионная фокусировка, пучки заряженных частиц, ионный источник, электронная оптика.

В настоящее время активно развиваются такие отрасли науки и техники, как электроника и наноэлектроника, ведется активный поиск и создание новых композитных материалов, бурно развиваются нанотехнологии. Все эти области остро нуждаются в контроле качества производимых изделий, новых технологиях создания материалов.

В данных отраслях активно применяются электронные микроскопы, в частности просвечивающие, позволяющие оценить не только поверхностный слой, но и внутреннюю структуру исследуемого образца, установки для ионной имплантации, ведется разработка нейтронных микроскопов. Однако в ряде случаев [1] параметры (сила тока, мощность, степень фокусировки и др.), достижимые на существующих устройствах, оказываются недостаточными. Так, например, существует необходимость в получении высокой плотности мощности в малой области вещества. Ее достижению мешают либо недостаточная мощность потока заряженных частиц, либо недостаточная степень фокусировки потока.

Для достижения указанной цели предлагается использовать аксиально-симметричное магнитное фокусирующее поле [2, 3] и линейно протяженный жидкометаллический ионный источник [4, 5]. Аксиально-симметричные магнитные поля позволяют достичь высокой степени фокусировки [3] и обладают рядом преимуществ перед электростатическими и электродинамическими полями, такими как отсутствие необходимости принятия специальных мер для предотвращения пробоя между электродами, расположение соленоидов, создающих магнитное поле за пределами вакуумной камеры, что исключает воздействие на них потоков заряженных частиц.

В настоящее время наибольшее распространение получили плазменные ионные источники [5] позволяющие получить потоки большой мощности. Принципиальным недостатком плазменных ионных источников является протяженный характер области инжекции ионов (области плазмы), который вследствие закона сохранения фазового объема (теорема Лиувилля) не позволяет сфокусировать весь полу-

чаемый поток в малой области пространства. Для получения прецизионной фокусировки необходимо использовать источники с площадью поверхности области инжекции, стремящейся к нулю. Характерным примером такого источника является жидкометаллический источник, в котором инжектируемой поверхностью является острière иглы. Однако очевидно, что в этом случае неприемлемо малой окажется сила тока и, как следствие, малая мощность самого ионного потока. Для преодоления возникших противоречий было предложено использование линейно протяженных ионных источников, область инжекции которых выполнена в форме острия лезвия, что позволяет создавать ионные потоки с силой тока до 10 А, не нарушая требование теоремы Лиувилля, поскольку площадь инжекции по-прежнему стремится к нулю. Это снимает фундаментальное ограничение на возможность прецизионной фокусировки потока, но требует создания аксиально-симметричных полей специальной конфигурации.

Исследованию фокусирующих свойств аксиально-симметричных магнитных полей посвящены, в частности, работы [6, 7]. Анализ траекторий частиц (фокусных пятен), полученных при моделировании фокусирующей системы с точечным источником, позволил определить геометрию протяженного источника.

Ионный источник, выполненный на основе использования анода в форме вложенных концентрических окружностей, будет обладать той же яркостью, что и источник, выполненный на основе иглы. Отсюда следует возрастание тока ионного источника пропорционально площади излучаемой поверхности анода в 10^3 – 10^5 раз в зависимости от линейной протяженности пластин анода. Далее в таблице приведены некоторые расчетные параметры для различных частиц.

Таким образом, использование аксиально-симметричных магнитных полей и линейно-протяженных ионных источников позволяет фокусировать потоки мощностью $W = 2,57 \cdot 10^4$ Вт в области $r = 5$ мкм и достигать плотности мощности $\sigma_W =$

$= 3,27 \cdot 10^{14}$ Вт/м² в микронной области вещества. Сопоставимые плотности энергии ($\sigma \approx 10^{11}-10^{15}$ Вт/м²)

до сих пор были получены только в случае фокусировки лазерного луча.

Таблица расчетных параметры для потоков частиц

Частицы	$U, В$	$I, А$	$\sigma_I, А \cdot м^{-2}$	$W, Вт$	$\sigma_W, Вт \cdot м^{-2}$	$R_0, м$
e^-	10^6	$1,96 \cdot 10$	$6,24 \cdot 10^{12}$	$1,96 \cdot 10^7$	$6,24 \cdot 10^{18}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$
	10^7	$1,96 \cdot 10^2$	$6,24 \cdot 10^{13}$	$1,96 \cdot 10^9$	$6,24 \cdot 10^{20}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$
p, H^+	10^6	$1,07 \cdot 10^{-2}$	$3,40 \cdot 10^9$	$1,07 \cdot 10^4$	$3,40 \cdot 10^{15}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$
	10^7	$1,07 \cdot 10^{-1}$	$3,44 \cdot 10^{10}$	$1,07 \cdot 10^6$	$3,40 \cdot 10^{17}$	$4,4 \cdot 10^{-1}$
${}^6_3Li^+$	10^6	$2,05 \cdot 10^{-3}$	$6,53 \cdot 10^8$	$2,05 \cdot 10^3$	$6,53 \cdot 10^{14}$	$2,8 \cdot 10^{-1}$
	10^7	$2,05 \cdot 10^{-2}$	$6,53 \cdot 10^9$	$2,05 \cdot 10^5$	$6,53 \cdot 10^{16}$	$9,0 \cdot 10^{-1}$
Pb^+	10^6	$5,17 \cdot 10^{-5}$	$1,65 \cdot 10^7$	$5,17 \cdot 10$	$1,65 \cdot 10^{13}$	$4,9 \cdot 10^{-1}$
	10^7	$5,17 \cdot 10^{-4}$	$1,65 \cdot 10^8$	$5,17 \cdot 10^3$	$1,65 \cdot 10^{14}$	$1,5$

Библиографические ссылки

1. Матюхин С. И. Ионная имплантация : Новые возможности известного метода // Известия ОрелГТУ. – 2003. – № 1-2. – С. 59–62. – Серия «Естественные науки».
2. Патент на изобретение № 2427056. Фокусирующая система (варианты) / Е. А. Морозов, И. Н. Ефимов. – Зарег. в Гос. реестре изобретений РФ 20.08.2011.
3. Морозов Е. А., Косов Е. С. О возможности высокоточной фокусировки ионных потоков большой мощности // Интеллектуальные системы в производстве. – 2012. – № 1(19). – С. 158–165.

4. Патент на изобретение № 2389105. Устройство создания ионных потоков / Е. А. Морозов, И. Н. Ефимов. – Зарег. в Гос. реестре изобретений РФ 10.05.2010.
5. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / М. П. Сих, Д. Бригс, Дж. К. Ривьер [и др.] ; под ред. Д. Бригса, М. П. Сиха. – М. : Мир, 1987. – 600 с.
6. Морозов Е. А. Расчет энергоанализаторов малогабаритных электронных магнитных спектрометров : дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Ижевск, 1996. – 122 с.
7. Хазова Р. А. Расчет параметров магнитного поля энергоанализатора и систем компенсации электронного магнитного спектрометра высокой светосилы : дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Ижевск, 1999. – 101 с.

E. S. Kosov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Rising the Power Density in Electron and Ion Optic Devices

The capabilities of rising the power density in electron and ion optic devices via linearly extended ion source and axial symmetric magnetic focus fields are analyzed.

Key words: high-precision focusing, charged beams, ion source, electron optics.

УДК 620.17:658.56

В. А. Кузнецова, ОАО «Элеконд», Сарапул

П. Л. Кузнецов, ОАО «Элеконд», Сарапул

В. В. Муравьев, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТАНТАЛОВЫХ ОКСИДНО-ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЧИП-КОНДЕНСАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

С помощью экспериментальных методов проведены исследования надежности танталовых чип-конденсаторов. Получены математические модели изменения характеристик танталовых чип-конденсаторов от времени испытания при температуре испытаний +85 °C и испытательном напряжении $U_{исп} = U_{ном}$.

Ключевые слова: танталовые оксидно-полупроводниковые чип-конденсаторы, надежность изделий, математические модели.

Известно, что надежность изделий – это свойство объекта, характеризующееся способностью выполнять заданные функции,

сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям