

Выводы

1. Крупноячеистая управляющая сетка (КУС) обеспечивает нужную величину тока эмиссии с АЭК, но вызывает появление больших углов наклона электронных траекторий.

2. Уменьшение этих углов наклона вблизи поверхности такой сетки магнитным полем на катоде возможно, если величина этого поля составляет несколько единиц тесла, но достичь таких больших значений магнитного поля на практике нельзя.

3. Уменьшение ширины перемычек КУС позволяет несколько уменьшить углы наклона электронных траекторий и исключить или уменьшить оседание электронов пучка на КУС.

4. Уменьшение диаметра АЭК позволяет существенно уменьшить углы наклона электронных траекторий и создать ЭОС для ЛБВ сантиметрового диапазона.

5. Применение лезвийного АЭК, у которого лезвия расположены посередине между кольцевыми перемычками управляющей сетки, позволяет резко снизить углы наклона электронных траекторий (в идеале до нуля) и в несколько раз уменьшить величину фокусирующего магнитного поля.

Литература

1. Spindt G. A. // J. Appl. Phys. 1968.V. 39. № 6. P. 3504—3505.
2. Пат. 1738013 РФ от 12.02.1993 г./ Григорьев Ю. А., Васильковский С. В., Шестеркин В. И., Ярцева З. А.
3. Petrosyan A. I., Morev S. P., Rogovin V. I. // Technical Digest of 12-th IVMC-99, Darmstadt, Germany. P. 213—216.
5. Король В. Н., Григорьев Ю. А. // Электроника и вакуумная техника: Приборы и устройства. Технология. Материалы: Матер. науч. техн. конф. молод. спец. — Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2004. С. 62—67.

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2007 г.

The simulation of TWTO electron-optical systems with field emission

A. I. Petrosyan, V. I. Rogovin

The Federal State Unitary Enterprise «Scientific-Industrial Enterprise “Almaz”», Saratov, Russia

The simulation of electron beams in TWTO electron-optical systems (EOS) with field emission is carried out. It is founded, that decreasing of partial field-emission cathode diameter diminishes the electron trajectories angles, caused by the disturbing effect of control grid with large meshes. It is shown, that the immersion of gun into straight magnetic field appreciably diminishes these angles in case, when the magnetic field value reaches several Tesla. The computer-aided design of EOS with field emission for I,J — band TWT is fulfilled. The simulation of EOS with blade field-emission cathode is realized.

УДК 637.534.7

Исследование ионно-оптических характеристик диэлектрических капилляров

А. С. Камышан, Ф. Ф. Комаров, А. Е. Лагутин

Научно-исследовательское учреждение "Институт прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко" Белорусского государственного университета, г. Минск, Беларусь

Измерены угловые распределения протонов с энергией 240 кэВ, прошедших через стеклянные (боросиликатные) капилляры диаметром 0,1 и 0,5 мм, длиной 30, 65, 178 мм в диапазоне тока пучка протонов от $8,5 \cdot 10^{-13}$ до $5 \cdot 10^{-11}$ А при углах влета протонов относительно оси капилляра от $-0,20$ до $+0,20^\circ$. Форма угловых распределений протонов, прошедших через стеклянный капилляр длиной 65 мм, определена в значительной мере однократным рассеянием заряженных частиц внутренней поверхностью капилляра. Выявлено, что увеличение длины капилляра до 178 мм приводит к изменению формы угловых распределений, поскольку при этих размерах начинает сказываться влияние заряда внутренней поверхности капилляра.

Пучки заряженных частиц принадлежат к числу наиболее часто встречающихся объектов в современной науке и технике. Система транспортиров-

ки пучка представляет собой комбинацию линз и дрейфовых промежутков. Аберрации электронных и ионных оптических систем являются фундамен-

тальными ограничениями при создании любой лучевой оптики. Уменьшение aberrаций особенно актуально для ионных пучков. Компенсировать aberrации можно, используя дополнительные заряды, неоднородности поля, переменные поля или различные виды симметрии [1]. Поскольку компенсация приводит к чрезмерному усложнению и, как следствие, существенному удорожанию таких систем, наш взгляд на эту проблему заключается в том, что необходима не компенсация, а поиск таких элементов и систем, которые будут сами обеспечивать требуемые свойства при минимальных aberrациях. Анализ такой системы является методом обсуждения настоящей работы.

Явление скольжения пучков заряженных частиц вдоль заряженной диэлектрической поверхности может иметь ряд интересных для практики приложений. Принцип основан на взаимодействии скользящих ионных пучков с гладкой внутренней поверхностью стенки капилляра [2]. На основе этого явления могут быть разработаны новые системы преобразования, управления и транспортировки пучков заряженных частиц, в частности, получение пучков с микронными и нанометровыми размерами, интересных в локальном элементарном и структурном анализе, в нанолитографии, для приложений в биологии, радиэкологии и медицине [3]. По сравнению с существующими микронными лучевыми средствами настоящий метод, несомненно, является более простым и дешевым, одновременно обеспечивая все требования субмикронной спектроскопии резерфордского обратного рассеяния или анализа с применением индуцированного характеристического рентгеновского излучения.

Обычно для сохранения постоянного диаметра пучка требуется иметь фокусирующие линзы вдоль канала транспортировки этого пучка, в частности, это необходимо в ускорителях частиц, в которых аксиальная траектория иона может быть очень протяженной. Применяя диэлектрические капилляры, можно создавать протяженные заряженные области, электрическое поле которых взаимодействует с частицами пучка и изолирует их от поверхности диэлектрика, при этом пучок попадает в режим протяженного скольжения, в результате чего не происходит обмена энергией между пучком и поверхностью, что указывает на отсутствие ионизационных потерь [4].

Настоящая работа посвящена исследованию взаимодействия ускоренных протонов с поверхностью диэлектрического стеклянного капилляра в целях изучения характеристик движения частиц при таком взаимодействии.

Экспериментальная установка

Для исследования процессов прохождения быстрых протонов через диэлектрические капилляры

на базе электростатического ускорителя ионов ЭСУ-2 была разработана и изготовлена экспериментальная установка со следующими параметрами: точность определения углов при измерении угловых распределений — не более $3,3 \cdot 10^{-3}$ град; немонахроматичность исходного ионного пучка — не более 0,1 %; точность ориентирования капилляра относительно оси пучка — не более $2,5 \cdot 10^{-2}$ град; измеренная расходимость исходного ионного пучка — не более $\pm 3,0 \cdot 10^{-2}$ град; полное измеренное энергетическое разрешение системы регистрации с учетом энергетического разброса в исходном пучке — не более 20 кэВ. Схема экспериментальной установки приведена в работе [5].

Обсуждение результатов эксперимента

Измерялись угловые и временные распределения количества протонов с энергией 240 кэВ, прошедших через стеклянные (боросиликатные) капилляры диаметром 0,5 мм и длиной 65 и 178 мм в диапазоне тока пучка протонов 10^{-12} — $5 \cdot 10^{-11}$ А при углах влета протонов относительно оси капилляра от $-0,20$ до $+0,20^\circ$, а также через капилляр диаметром 0,1 мм и длиной 30 мм при его ориентации вдоль оси пучка и входных токах от $8,5 \cdot 10^{-13}$ до $1,5 \cdot 10^{-11}$ А.

Угловые распределения протонов, прошедших через капилляры при противоположных относительно нуля углах влета, имеют вид зеркального отражения друг от друга и их ширины одинаковы. Форма угловых распределений протонов, прошедших через стеклянный капилляр длиной 65 мм, определяется в значительной мере однократным рассеянием заряженных частиц внутренней поверхностью капилляра [6]. При нулевом угле влета (рис. 1) в центральной части распределения наблюдаются три пика, ширина распределения на 17 % больше, чем для углов влета $0,1$ и $0,15^\circ$; при увеличении угла влета до $0,1$ — $0,15^\circ$ от центрального пика остается только след.

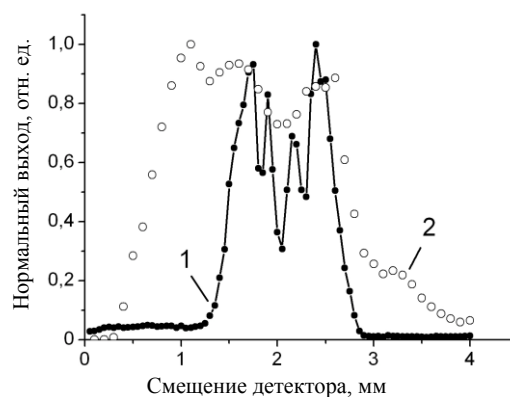


Рис. 1. Угловые распределения протонов с энергией 240 кэВ после прохождения капилляров диаметром 0,5 мм и длиной 178 (1) и 65 (2) мм.

Угол между протонным пучком и капиллярами 0°

Изменение угла влета протонов относительно оси капилляра до $0,20^\circ$ способствует подавлению одного из боковых пиков и уменьшению ширины другого. Увеличение длины капилляра до 178 мм приводит к изменению формы и ширины угловых распределений протонов, прошедших через капилляр.

При нулевом угле влета в угловом распределении вместо центрального пика, обусловленного в предыдущем случае долей частиц, прошедших через капилляр без рассеяния, имеют место два пика с минимумом в центре (см. рис. 1). Такая трансформация центральной части углового распределения обусловлена влиянием заряда, накапливающегося на внутренней поверхности капилляра, которое и приводит к перераспределению центральной части пучка по углам вылета из капилляра.

Более отчетливо эффект влияния заряда наблюдается на рис. 2, где приведены временные зависимости количества протонов с энергией 240 кэВ, прошедших через капилляр диаметром 0,1 мм и длиной 30 мм для различных значений тока на входе в капилляр. Из рис. 2 видно, что увеличение тока ионов на входе в капилляр приводит к существенному увеличению среднего числа протонов, прошедших через него. Следует отметить, что имеет место обратная пропорциональность между степенью увеличения тока и временным расстоянием между одноименными пиками, что свидетельствует о том, что происходит постепенная компенсация токов утечки капилляра.

На рис. 3 приведено угловое распределение количества протонов, прошедших через капилляр диаметром 0,1 мм и длиной 30 мм при угле влета $0,15^\circ$ и токе на входе 0,8 пА.

Распределение состоит из ряда равноотстоящих пиков практически одинаковой ширины и с амплитудой, плавно спадающей к краям распределения. Сравнение полученного углового распределения с угловым исходного пучка (рис. 4) позволяет выявить некоторые особенности:

пучок протонов после прохождения через капилляр существенно шире исходного, что, вероятнее всего, обусловлено большим углом влета;

непрерывное угловое распределение исходного пучка трансформируется в линейчатое с расстоянием между линиями $0,06^\circ$.

Можно предположить, что при приведенных выше условиях эксперимента в поле заряженного капилляра происходит разделение исходного пучка на ряд линий, отличающихся поперечными энергиями на $\Delta E_{\perp} = E (\Delta\phi)^2 \approx 0,24$ кэВ.

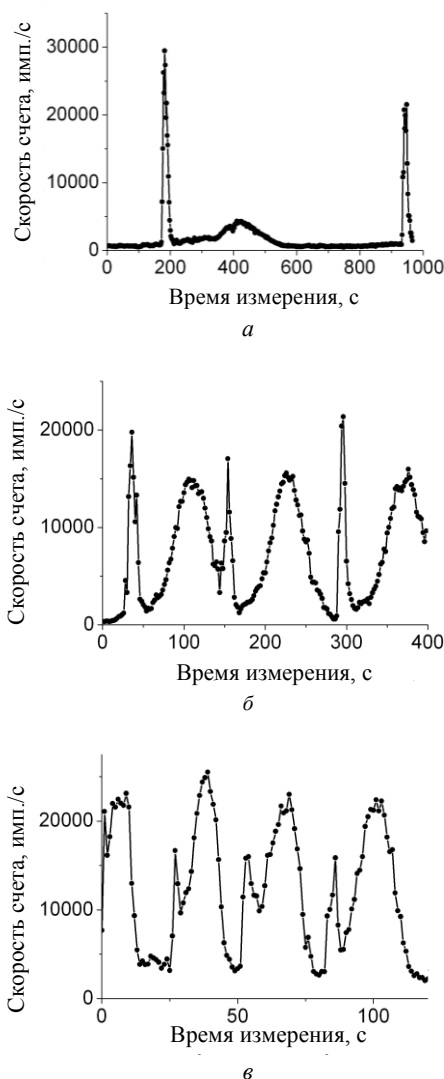


Рис. 2. Временные распределения количества протонов с энергией 240 кэВ после прохождения капилляра диаметром 0,1 мм и длиной 30 мм при постоянном угле разориентации $0,1^\circ$.

Ток протонов на входе в капилляр:
а — 0,85 пА; б — 3,7 пА; в — 15 пА

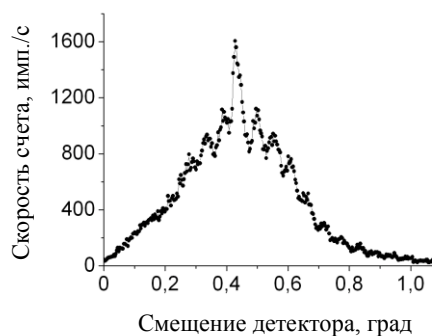


Рис. 3. Угловое распределение количества протонов с энергией 240 кэВ после прохождения капилляра диаметром 0,1 мм и длиной 30 мм при угле разориентации $0,15^\circ$

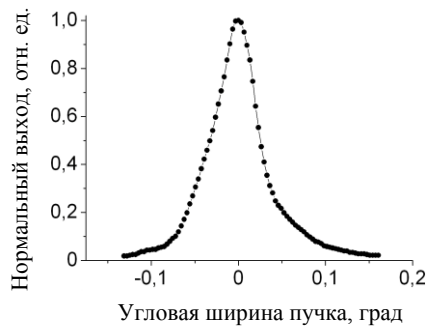


Рис. 4. Форма и угловая ширина пучка протонов с энергией 240 кэВ

Заключение

Форма угловых распределений протонов, прошедших через стеклянный капилляр диаметром 0,5 мм и длиной 65 мм, определяется однократным рассеянием заряженных частиц внутренней поверхностью капилляра. При увеличении длины последнего в три раза на форму угловых распределений начинает сказываться влияние зарядки внутренней поверхности капилляра. Уменьшение диаметра капилляра до 0,1 мм показало, что прохождение через него протонов определяется в ос-

новном степени зарядки его внутренней поверхности. Конкуренция процессов зарядки внутренней поверхности и утечки заряда в узких капиллярах обеспечивает осциллирующий характер временной зависимости тока прошедших ионов. Обнаружен эффект перераспределения ионного пучка по углам вылета, т. е. в поле заряженного капилляра происходит разделение исходного пучка на ряд линий, отстоящих друг от друга на $0,06^\circ$.

Литература

1. Силады М. Электронная и ионная оптика. — М.: Мир, 1990.
2. Stolterfoht N., Bremer J.-H., Hoffmann V., Hellhammer R., Fink D., Petrov A., Sulik B. // Physical Review Letters. 2002. V. 88. № 13. P. 133201-1.
3. Iwai Y., Ikeda T., Kanai Y., Kojima T. M., Kambara T., Kobayashi T., Anzai M., Nebeki T., Narusawa T., Pokhil G. P., Yamazaki Y. // ICACS'2006, Berlin. Germany. P. 76.
4. Жильяков Л. А., Костановский А. В., Кулинаускас В. С., Похил Г. П., Пресняков Д. В. // Поверхность. 2003. № 4. С. 6.
5. Lagutin A. E., Boyko E. B., Kamyshan A. S., Komarov F. F. — <http://accelconf.web.cern.ch/accelconf/>
6. Камышан А. С., Комаров Ф. Ф., Лагутин А. Е. // Вестник БГУ. Сер. 1. 2007. № 2. С. 8.

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2007 г.

Investigation of ion-optical characteristics of dielectric capillaries

A. S. Kamyshan, F. F. Komarov, A. E. Lagutin

A. N. Sevchenko Institute for Applied Physical Problems of BSU, Minsk, Belarus

A phenomenon of slipping of charged particles beams along the charged dielectric surface can be applied for some practical applications. In general, this is based upon interaction of slipped ion beams with a smooth internal surface of a glass capillary wall. The angular distributions of protons of 240 keV energy were measured. Protons passed through the glasses (boron-silicon) capillaries with a diameter of 0.1, 0.5 and length of 30, 65, 178 mm at the axial entry angles of particles $\pm 0.2^\circ$ and in the range of proton beam currents from $8.5 \cdot 10^{-13}$ to $5 \cdot 10^{-11}$ A. It was shown, that the angular distribution profile of protons passed along the glass capillaries with the length of 65 mm is strongly determined by single scattering of the charge particles by capillary inner surface. Increasing of the capillary length of up to 178 mm changes the angular distribution profile since under these sizes it begins to tell the influence of charging an internal surface of the capillary.

УДК 548.316:621.385.833:621.382

Электронно-зондовые методы наведенного тока и потенциального контраста в анализе отказов специализированных интегральных схем считывания и обработки сигналов матричных ИК-фотоприемников

В. М. Акимов, Н. Н. Дремова, С. Н. Якунин

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

Разработаны методики анализа на отказ и точной локализации дефектов интегральных схем с применением комбинаций методов наведенного тока и потенциального контра-