

УДК 538.971
DOI: 10.14489/glc.2022.02.pp.000-000

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 12 – 15 кэВ ЧЕРЕЗ СТЕКЛЯННЫЕ СУЖАЮЩИЕСЯ КАПИЛЛЯРЫ

А. Д. Пятигор¹, Л. В. Мышеловка¹, К. А. Вохмянина¹, В. С. Сотникова^{1,2}, А. А. Кубанкина¹,
Ю. В. Григорьев³

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ БелГУ), Белгород, Россия, news@bsu.edu.ru

²Белгородский технологический университет им. В. Г. Шухова (БГТУ), Белгород, Россия, rector@intbel.ru

³Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Москва, Россия, office@crys.ras.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований прохождения пучка электронов с энергией 12 и 15 кэВ через стеклянные сужающиеся макрокапилляры. В результате измерений показано отсутствие явной зависимости выходного тока от энергии электронов. Проведены измерения зависимости тока пучка на выходе из капилляров от времени.

Ключевые слова: пучок электронов, диэлектрический канал, гайдинг, энергетическая зависимость.

Для цитирования: Пятигор А. Д., Мышеловка Л. В., Вохмянина К. А., Сотникова В. С., Кубанкина А. А., Григорьев Ю. В. Исследование прохождения электронов с энергией 12 – 15 кэВ через стеклянные сужающиеся капилляры // Стекло и керамика. 2022. Т. 95, № 2. С. 00 – 00. DOI: 10.14489/glc.2022.02.pp.000-000

STUDY OF THE PASSAGE OF ELECTRONS WITH ENERGY OF 12 – 15 кэВ THROUGH GLASS TAPERED CAPILLARIES

A. D. Piatigor¹, L. V. Myshelovka¹, K. A. Vokhmyanina¹, V. S. Sotnikova^{1,2}, A. A. Kubankina¹, Yu. V. Grigoriev³

¹Belgorod State National Research University (NRU BelGU), Belgorod, Russia

²Belgorod Technological University named after V. G. Shukhov (BSTU), Belgorod, Russia

³Institute of Crystallography. A. V. Shubnikov Federal Research Center "Crystallography and Photonics" RAS, Moscow, Russia

This paper presents the results of experimental studies on the passage of an electron beam with an energy of 12 and 15 кэВ through glass tapered macrocapillaries. As a result of the measurement, the absence of an explicit dependence of the output current on the electron energy was shown. Time-dependent measurements of the beam current at the exit from the capillaries were carried out.

Key words: electron beam, dielectric channel, guiding, energy dependence.

For citation: Piatigor A. D., Myshelovka L. V., Vokhmyanina K. A., Sotnikova V. S., Kubankina A. A., Grigoriev Yu. V. Study of the passage of electrons with energy of 12 – 15 кэВ through glass tapered capillaries. *Steklo i keramika*. 2022;95(2):00-00. (in Russ). DOI: 10.14489/glc.2022.02.pp.000-000

Введение

Результаты исследований в области скользящего взаимодействия пучков заряженных частиц с диэлектрическими поверхностями впервые были получены в работе [1], в которой описывался эффект управления (гайдинг) пучком ионов с помощью полимерной пленки с нанокapиллярами. Первые результаты исследований в области

управления электронами с энергией менее 1 кэВ с помощью нанокapилляров были представлены в 2007 г. в работах [2, 3]. В ходе исследований было сделано следующее заключение: с увеличением энергии электронов ухудшается эффект гайдинга вплоть до его полного исчезновения. Аналогичный вывод был сделан и в работах [4 – 6] после изучения прохождения заряженных электронов

через стеклянные конусные капилляры с энергией не более 1 кэВ. Начиная с 2016 г. проводились исследования управления заряженными электронами с энергией 10 кэВ с помощью стеклянных сужающихся капилляров [7]. Управление пучком электронов удалось наблюдать при углах наклона каналов от $-0,57^\circ$ до $+2^\circ$.

Эксперимент

В данной работе представлены результаты исследования временной зависимости прохождения электронов с энергией 12 – 15 кэВ через стеклянные сужающиеся капилляры.

Схематическое изображение экспериментальной установки представлено на рис. 1. Пучок электронов генерируется электронной пушкой 1, проходит через систему электромагнитных линз 2 и коллиматор 3 диаметром 1 мм. Сформированный пучок 4 попадает на вход исследуемого образца, закрепленного в подвижном держателе с гониометром 5. Гониометр позволяет линейно перемещать по вертикальной и горизонтальной осям, а также наклонять держатель с капиллярами с точностью до $0,1^\circ$. Передний торец канала закрыт металлической заземленной маской с миллиметровым отверстием. Маска экранирует торец канала, предотвращая облучение электронами пучка и «запирание» канала. Для измерения тока первичного пучка, падающего в канал, в маске предусмотрено дополнительное сквозное отверстие диаметром 1 мм. Ток прошедших электронов 6 регистрируется медной пластиной 7 и пикоампертметром Keithley 6482 8. Эксперимент проводился с четырьмя капиллярами, изготовленными из стекла марки Soda Lime glass. Капилляры имеют сужающуюся форму и отличаются как по длине, так и по диаметру выходного отверстия (табл. 1).

Эксперимент для всех капилляров проводился по общей схеме. Сначала измеряли ток первичного пучка электронов, прошедших через сквозное отверстие. Затем держатель с образцами линейно сдвигали таким образом, чтобы пучок электронов попадал на входной торец первого канала. В течение нескольких часов проводили запись значений тока пучка электронов, проходящих через капилляр, до тех пор, пока не произойдет «запирание» канала. Затем держатель сдвигали на второй канал и измерения повторяли. Таким образом, были проведены измерения для всех четырех макрокапилляров, после чего изменяли энергию первичного пучка и эксперимент повторяли.

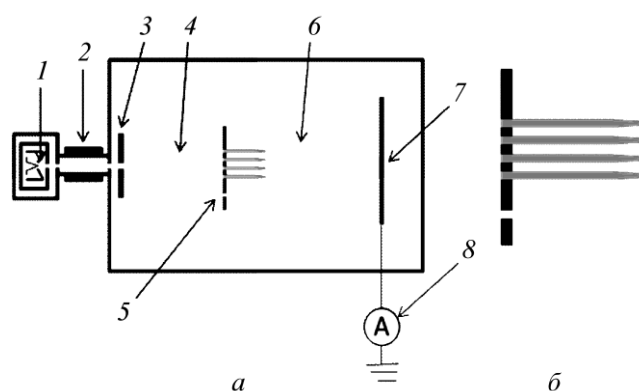


Рис. 1. Схема эксперимента (а) и держателя со стеклянными капиллярами (б)

- 1 – электронная пушка; 2 – система электромагнитных линз; 3 – коллиматор; 4 – пучок электронов;
- 5 – подвижный держатель с гониометром;
- 6 – пучок электронов, прошедших через капилляр;
- 7 – медный экран, покрытый порошком сцинтиллятора;
- 8 – пикоамперметр Keithley 6482

Таблица 1

Усредненные результаты измерений для четырех капилляров при энергиях электронного пучка 12 и 15 кэВ

№ образца	Энергия электронов пучка			12 кэВ	
	Диаметр отверстия капилляра		Длина капилляра, мм	Падающий ток, ± 3 нА	Средний ток на выходе, нА
	входного, $\pm 0,1$ мм	выходного, мкм			
1	0,90	70	46	30	$3,53 \pm 0,66$
2	0,76	30	48	30	$2,68 \pm 0,64$
3	0,76	230	40	30	$3,95 \pm 0,50$
4	0,76	10	46	30	$3,37 \pm 0,69$
	Энергия электронов пучка			15 кэВ	
1	0,90	70	46	30	$5,52 \pm 3,28$
2	0,76	30	48	30	$1,68 \pm 1,04$
3	0,76	230	40	30	$0,78 \pm 0,29$
4	0,76	10	46	30	$4,71 \pm 2,99$

каналы. Показано, что интенсивность и фокусирующая способность прошедшего пучка электронов не зависит от энергии электронов, но зависит от диаметра выходного отверстия капилляра. Данные результаты показывают, что успешное пропускание электронов через диэлектрические капилляры возможно при энергиях 12 и 15 кэВ.

Список литературы

1. Ikeda T., Ikekame M., Hikima Y., et al. Profile measurements of MeV ion microbeams in atmosphere extracted from single tapered glass capillaries with an end window // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B. 2020. V. 470. P. 42 – 47.

2. Milosavljevic A., Viktor G., Pesic Z., et al. Guiding of low-energy electrons by highly ordered nanocapillaries // Physical Review, A. 2007. V. 75, No. 3. P. 030901.

3. Das S., Dassanayake B. S., Winkworth M., et al. Energy dependence of electron transmission through

a single glass microcapillary // Physical review, A. 2007. V. 76. P. 042716.

4. Wickramarachchi S. J., Dassanayake B. S., Keerthisinghe D., et al. Electron transmission through a microsize tapered glass capillary // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B. 2011. V. 269. No. 11. P. 1248 – 1252.

5. Wickramarachchi S. J., Ikeda T., Keerthisinghe D., et al. Angular dependence of electron transmission through a microsize tapered glass capillary // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B. 2013. V. 317. P. 101 – 104.

6. Wickramarachchi S. J., Dassanayake B. S., Keerthisinghe D., et al. Transmission of fast highly charged ions through straight and tapered glass capillaries // Phys. Scr. 2013. T. 156. P. 014057 – 014060.

7. Vokhmyanina K. A., Sotnikova V. S., Kishchin I. A., et al. Propagation of 10 keV electrons through tapered glass macrocapillaries // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2016. V.10, No. 2. P. 429 – 432.

Поступила в редакцию / Received 29.11.2021

Принята к публикации / Accepted 14.01.2022

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке конкурсной части госзадания по созданию и развитию лабораторий, проект № FZWG-2020-0032 (2019-1569).

Financing. The work was financially supported by a Program of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for higher education establishments, project No.FZWG-2020-0032 (2019-1569).

Сведения об авторах / Information about authors

Пятигор Артем Дмитриевич – лаборант-исследователь, кафедры теоретической и экспериментальной физики, Институт инженерных и цифровых технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ БелГУ), Белгород, Россия.

Artem D. Piatyhor – Research Laboratory Assistant, Department of Theoretical and Experimental Physics, Institute of Engineering and Digital Technologies, Belgorod State National Research University (NRU BSU), Belgorod, Russia.

E-mail: srmemphis322@gmail.com. **SPIN РИНЦ:** 2829-8436

ORCID: 0000-0001-5128-6078

Мышеловка Лариса Викторовна – лаборант-исследователь, кафедры теоретической и экспериментальной физики, Институт инженерных и цифровых технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ БелГУ), Белгород, Россия.

Larisa V. Myshelovka – Research Laboratory Assistant, Department of Theoretical and Experimental Physics, Institute of Engineering and Digital Technologies, Belgorod State National Research University (NRU BSU), Belgorod, Russia.

E-mail: lareczn@gmail.com. **SPIN РИНЦ:** 7202-6976

ORCID: 0000-0002-3231-8609