



## Многослойные полевые эмиттеры на тонкой металлической подложке

Г. Г. Соминский, В. Е. Сезонов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Россия, 195251 Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29

E-mail: sominski@rphf.spbstu.ru; sezonovve@mail.ru

Автор для переписки Геннадий Гиришевич Соминский, sominski@rphf.spbstu.ru

Поступила в редакцию 3.07.2020, принята к публикации 5.08.2020, опубликована 30.10.2020

**Цель** работы – определение возможности создания многослойных катодов из приведенных в контакт материалов с разной работой выхода  $e\varphi$  на тонких металлических подложках, а также практического использования таких катодов для формирования интенсивных ленточных и кольцевых в сечении электронных потоков в миниатюрных, но высоковольтных приборах. **Методы.** Слои гафния ( $e\varphi \sim 3.5$  эВ) и платины ( $e\varphi \sim 5.3$  эВ) толщиной соответственно 10 нм и 2 нм последовательно наносились на боковую поверхность подложек из металлической фольги с использованием достаточно простого и оперативного метода магнетронного напыления. Из фольги с многослойным покрытием изготавливались катоды для формирования ленточных и кольцевых в сечении электронных пучков. Экспериментальные измерения эмиссионных характеристик многослойных катодов и формируемых ими пучков производились в триодных электронно-оптических системах, включающих катод, управляющий электрод (анод) и коллектор электронов в форме цилиндра Фарадея. Измерения выполнены в условиях технического вакуума  $10^{-7} \dots 10^{-8}$  Торр. **Результаты.** Экспериментально определены характеристики ленточных и кольцевых в сечении электронных потоков, формируемых триодными электронно-оптическими системами с многослойными катодами на тонких подложках из алюминия (9 мкм) и тантала (10 мкм). Измерены зависимости тока с катода от величины напряжения между катодом и управляющим электродом (вольт-амперные характеристики), а также изменения во времени тока электронов в формируемом электронно-оптической системой пучке. **Заключение.** В данной работе продемонстрирована возможность формирования с помощью многослойных катодов на тонкой металлической подложке ленточных и кольцевых в сечении электронных потоков с токами до нескольких десятков миллиампер при чрезвычайно больших средних по сечению плотностях тока полевой эмиссии до  $300 \dots 400$  А/см<sup>2</sup>. Показана возможность стабильной работы исследованных катодов при отборе больших токов полевой эмиссии в условиях технического вакуума.

**Ключевые слова:** полевая эмиссия, многослойные катоды, тонкие металлические подложки, миниатюрные высоковольтные приборы, технический вакуум.

**Образец цитирования:** Соминский Г.Г., Сезонов В.Е. Многослойные полевые эмиттеры на тонкой металлической подложке // Известия вузов. ПНД. 2020. Т. 28, № 5. С. 505–512. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2020-28-5-505-512>

Статья опубликована на условиях лицензии *Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)*.

**Финансовая поддержка.** Работа финансировалась из средств гранта Российского научного фонда (проект № 16-12-10010-П).

## Multilayer field emitters on a thin metal substrate

G. G. Sominskii, V. E. Sezonov

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
29, Polytechnicheskaya St., St. Petersburg 195251, Russia  
E-mail: sominski@rphf.spbstu.ru, sezonovve@mail.ru

Correspondence should be addressed to Gennadi G. Sominskii, sominski@rphf.spbstu.ru

Received 3.07.2020, accepted 5.08.2020, published 30.10.2020

The **purpose** of this work is to determine the ability of creating multilayer cathodes from contacted materials with different work functions  $e\varphi$  on thin metal substrates, as well as the practical use of such cathodes for the formation of intense sheet and annular in cross sections electron flows in miniature but high-voltage devices. **Methods.** Layers of hafnium ( $e\varphi \sim 3.5$  eV) and platinum ( $e\varphi \sim 5.3$  eV) with a thickness of 10 nm and 2 nm, respectively, were sequentially deposited on the side surface of the metal foil substrates using a fairly simple and efficient method of magnetron sputtering. Cathodes made from a foil with a multilayer coating, emitted sheet and annular in the cross section electron flows. Experimental measurements of the emission characteristics of multilayer cathodes and formed by them electron flows were carried out in triode electron-optical systems (EOS), consisted of a cathode, a control electrode (anode), and an electron collector in the form of a Faraday cup. The measurements were carried out in a technical vacuum of  $10^{-7} \dots 10^{-8}$  Torr. **Results.** The characteristics of sheet and annular in cross sections electron flows formed by triode EOSs with multilayer cathodes on thin substrates of aluminum (9  $\mu\text{m}$ ) and tantalum (10  $\mu\text{m}$ ) were experimentally determined. The dependences of the current from the cathode on the voltage between the cathode and the control electrode (current-voltage characteristics), as well as the changes in time of the electron current of electron flows generated by EOS, were measured. **Conclusion.** In this work, the possibility of forming sheet and annular in cross sections electron flows with currents of up to several tens of milliamperes at extremely large average field emission current densities of up to  $300 \dots 400$  A/cm<sup>2</sup> by using of multilayer cathodes on a thin metal substrate was demonstrated. The possibility of the stable operation of the studied cathodes during the high field emission in a technical vacuum is shown.

*Key words:* field emission, multilayer cathodes, thin metal substrates, miniature high-voltage devices, technical vacuum.

*Reference:* Sominskii G.G., Sezonov V.E. Multilayer field emitters on a thin metal substrate. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*, 2020, vol. 28, no. 5, pp. 505–512. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2020-28-5-505-512>

*This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0).*

*Acknowledgements.* The work was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 16-12-10010-P).

### Введение

Не требующие накала и практически безынерционные полевые эмиттеры привлекательны для использования в миниатюрных, но высоковольтных электронных приборах, в частности, в коротковолновых СВЧ-приборах миллиметрового и субмиллиметрового диапазона длин волн. Однако для обеспечения достаточно интенсивной полевой эмиссии необходимо создать электрические поля у их поверхности порядка  $(2 \dots 4) \cdot 10^7$  В/см или даже более. Для достижения таких полей при не слишком высоких рабочих напряжениях обычно на поверхности эмиттера формируют усиливающие электрическое поле структуры [1, 2]. Наиболее отработаны к настоящему времени разнообразные многоострийные катоды (см., например, [3–6]). Наилучшие из существующих многоострийных катодов позволяют получать достаточно большие для многих практических применений токи полевой эмиссии, измеряемые десятками, а в некоторых случаях даже сотнями миллиампер [4, 5]. Поле у поверхности острия может усилиться в  $10^3 \dots 10^4$  раз. Плотности тока эмиссии с одиночного острия достигают значений порядка  $10^7 \dots 10^8$  А/см<sup>2</sup> или даже более. Однако средние по поверхности многоострийной структуры плотности тока эмиссии невелики и обычно не превышают  $3 \dots 4$  А/см<sup>2</sup>, то есть по этому показателю многоострийные полевые эмиттеры уступают термокатадам, плотность тока эмиссии с поверхности которых может быть более 10 А/см<sup>2</sup>.

Сравнительно невысокая плотность тока эмиссии с поверхности распределенных многоострижных полевых эмиттеров сдерживает в определенной степени их применение в электронных приборах малого размера, где одновременно необходимы и большой ток и высокая плотность потока электронов. Но все же не только это ограничивает возможности практического использования многоострижных полевых эмиттеров. К сожалению, создание упорядоченных многоострижных структур – сложная и трудоемкая процедура. Кроме того, в условиях технического вакуума в высоковольтных электронных приборах усиливающие поле структуры разрушаются под действием бомбардировки ионами остаточного газа, что может привести к деградации катода и выходу его из строя. Делались попытки защитить полевые эмиттеры от разрушающего действия ионной бомбардировки с помощью разнообразных электронно-оптических систем, препятствующих попаданию ионов на поверхность полевого эмиттера [3, 7], а также с помощью специальных защитных покрытий [8]. Насколько нам известно, к настоящему времени наилучшие результаты в защите эмиттеров от разрушающего действия ионной бомбардировки получены при использовании разработанных авторами [8] защитных металл-фуллереновых покрытий. Однако необходимость нанесения таких покрытий дополнительно усложняет технологию изготовления многоострижных катодов.

Сравнительно недавно в лаборатории сильноточной и СВЧ электроники Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого при исследовании композитов из гранул гексаборида лантана ( $\text{LaB}_6$ ) в оболочке из пирографита была обнаружена возможность получения полевой эмиссии электронов под действием полей, существующих у контакта материалов с разной работой выхода  $e\phi$ . Использование этого явления принципиально открывает возможность создания безострижных полевых эмиттеров. В работах [9, 10] были исследованы возможности использования полей у контакта материалов с разной работой выхода для получения интенсивной полевой эмиссии. Были разработаны катоды, изготовленные из большого количества примыкающих друг к другу пар нанослоев материалов с разной работой выхода. Проведенные исследования продемонстрировали возможность использования таких многослойных катодов для обеспечения стабильной полевой эмиссии в высоковольтных электронных приборах, функционирующих в условиях технического вакуума. Было определено влияние на полевую эмиссию слоистых катодов разности работы выхода  $\Delta e\phi$  приведенных в контакт материалов, количества  $N$  пар слоев материалов с разной работой выхода, а также толщины слоев. Лучшими эмиссионными характеристиками из всех исследованных катодов обладали многослойные системы из приведенных в контакт слоев гафния ( $e\phi \sim 3.5$  эВ) и платины ( $e\phi \sim 5.3$  эВ). Многослойные системы создавались в результате последовательного магнетронного напыления на боковую поверхность монокристаллической подложки из арсенида галлия слоев материалов с разной работой выхода [9, 10]. Использовались подложки из GaAs толщиной 430 мкм. Оптимизированные [10] многослойные покрытия имели существенно меньшую толщину (приблизительно до 300 нм). Скол по одному из кристаллографических направлений монокристаллической подложки со слоистой структурой позволял обеспечить атомно-гладкую торцевую эмитирующую поверхность структуры. Такая технология представлялась приемлемой при изготовлении катодов, необходимых для формирования ленточных электронных потоков. Однако практически невозможно было ее использовать для создания востребованных на практике катодов, пригодных для формирования электронных потоков с более сложной формой сечения, например, потоков кольцевого сечения. Авторами была опробована возможность создания и использования многослойных катодов на тонких подложках из металлической фольги. Была разработана технология формирования многослойных катодов на подложках из алюминия толщиной 9 мкм и тантала толщиной 10 мкм. Использование тонких и эластичных подложек открывало возможность создания не только ленточных, но и кольцевых в сечении электронных потоков. В данной статье описаны результаты исследования гафний-платиновых катодов на подложках из алюминиевой и танталовой фольги в высоковольтном электронном приборе.

## 1. Методы создания и исследования катодов на тонкой металлической подложке

Многослойные покрытия, включающие 20 пар слоев гафния и платины, формировались на боковой поверхности металлической фольги. Слои Hf и Pt толщиной соответственно 10 нм и 2 нм последовательно наносились на боковую поверхность фольги с использованием достаточно простого и оперативного метода магнетронного напыления. Из фольги с многослойным покрытием вырезалась заготовка катода в виде полосы шириной 5...7 мм. Далее с использованием этой заготовки изготавливались катоды для формирования ленточных (SEF) и кольцевых в сечении (AEF) электронных потоков.

Исследования эмиссионных характеристик катодов, пригодных для формирования SEF и AEF, проводились в триодных системах, сечение которых схематически показано на рис. 1 и рис. 2. На рис. 1 приведены выполненные в двух взаимно перпендикулярных направлениях сечения измерительной системы, использованной для формирования SEF. На рис. 2 показано сечение системы формирования AEF. Измерительные системы включали закрепленный в специальном держателе эмиттер, управляющий электрод (анод) с диафрагмой и коллектор электронов, выполненный в форме цилиндра Фарадея. Основные размеры элементов измерительных систем приведены на рисунках. Катод системы формирования ленточного электронного пучка имел ширину 5 мм (рис. 1, *a*). Эмиттер, использованный для формирования кольцевого в сечении электронного потока, имел диаметр 14 мм (см. рис. 2). Для получения полевой эмиссии с катодов на них подавалось отрицательное относительно земли напряжение  $U$ . Управляющий электрод и коллектор заземлялись через сопротивления приборов, используемых для измерения токов на эти электроды.

При исследовании работы многослойных катодов измерялись токи  $I_{col}$  на коллектор и токи  $I_a$  на управляющий электрод (анод). Ток  $I_a$  определялся в основном потоком электронов с катода, который перехватывался управляющим электродом. Во всех исследованных режимах и для всех исследованных катодов ток управляющего электрода не превышал примерно 10–15% от тока на коллектор. При использовании коллектора в форме цилиндра Фарадея можно в первом приближении пренебречь потоком вторичных электронов с коллектора, попадающих на управляющий электрод. Поэтому полный ток эмиссии катода приближенно равен сумме  $I_c \cong I_{col} + I_a$ . Измерительные системы монтировались в экспериментальной установке, которая подвергалась

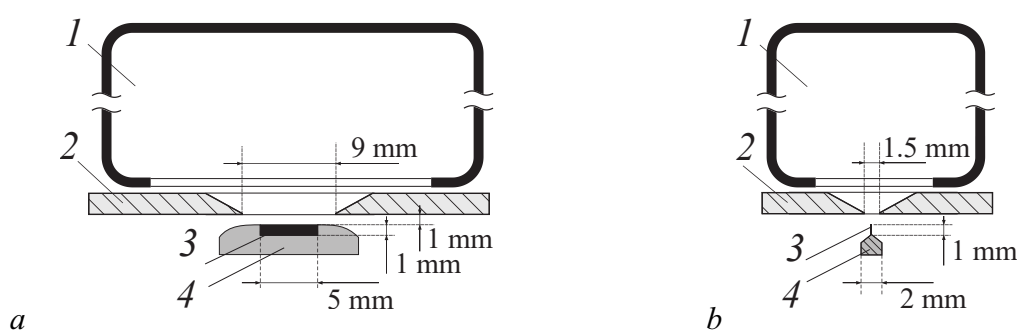


Рис. 1. Схематические изображения измерительной системы, использованной для формирования и исследования ленточного электронного потока (SEF). Показаны сечения системы в двух взаимно перпендикулярных по отношению к подложке продольном (*a*) и поперечном (*b*) направлениях. 1 – коллектор, 2 – управляющий электрод, 3 – SEF катод, 4 – держатель катода

Fig. 1. Schematic images of measuring system used to form and study the sheet electron flow (SEF). Cross sections of the system are shown in two longitudinal (*a*) and transverse (*b*) directions mutually perpendicular to the substrate. 1 – collector, 2 – control electrode, 3 – SEF cathode, 4 – cathode holder

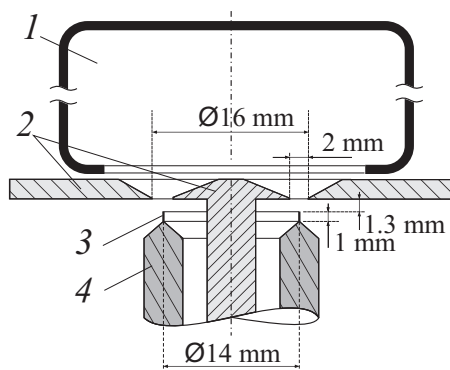


Рис. 2. Схематическое изображение измерительной системы, использованной для формирования и исследования кольцевого в сечении электронного потока (AEF). 1 – коллектор, 2 – управляющий электрод, 3 – AEF катод, 4 – держатель катода

Fig. 2. Schematic image of measuring system used to form and study the annular in cross section electron flow (AEF). 1 – collector, 2 – control electrode, 3 – AEF cathode, 4 – cathode holder

непрерывной откачке с помощью магнитно-разрядного и крио-сорбционного насосов. Давление в вакуумной камере установки поддерживалось во время измерений на уровне типичного для используемых на практике высоковольтных приборов технического вакуума  $10^{-7} \dots 10^{-8}$  Торр. Перед началом исследования эмиссионных характеристик катодов они подвергались длительной (несколько часов) тренировке с отбором в непрерывном режиме токов амплитудой до 1...2 мА. В результате тренировки стабилизировалась работа катодов.

## 2. Результаты экспериментального исследования

На рис. 3 показаны измеренные в непрерывном режиме характеристики электронно-оптических систем (ЭОС) с многослойными катодами на подложке из алюминиевой фольги, использованных для формирования AEF и SEF. Типичные вольт-амперные характеристики (зависимости тока эмиссии катода  $I_c$  от напряжения  $U$ ), а также зависимости тока катода  $I_c$  от времени  $t$  работы ЭОС приведены соответственно на рис. 3, *a* и *b*.

Многослойные катоды на алюминиевой подложке достаточно стабильно работали в непрерывном режиме в условиях технического вакуума при отборе токов, не превышающих предельные значения  $I_c = I_{cm}$  примерно 10...12 мА при формировании AEF и приблизительно

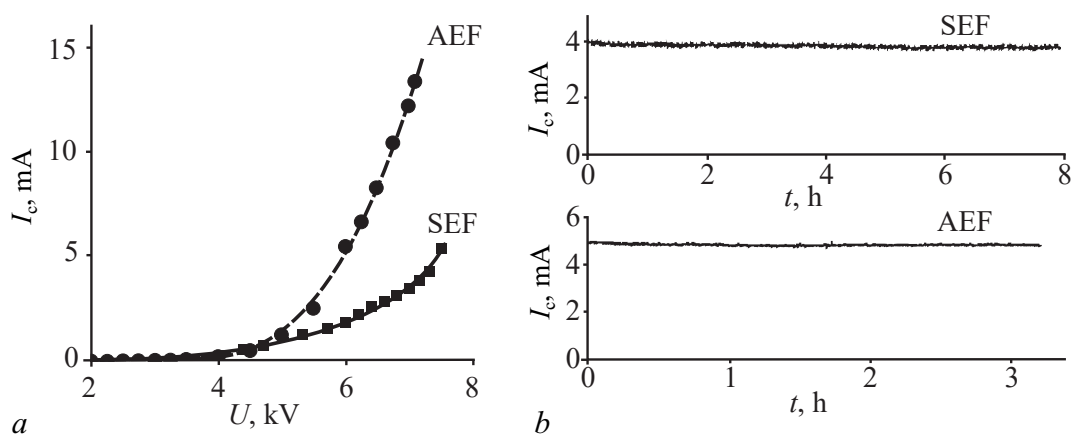


Рис. 3. Эмиссионные характеристики многослойных катодов на подложке из алюминиевой фольги, использованных для формирования ленточных (SEF) и кольцевых в сечении электронных потоков (AEF): *a* – вольт-амперные кривые  $I_c(U)$ ; *b* – зависимости тока  $I_c$  эмиссии катода от времени  $t$  работы катода

Fig. 3. Emission characteristics of the multi-layer cathodes on an aluminum foil substrate used to form sheet (SEF) and annular in cross-section electron flows (AEF): *a* – current-voltage curves  $I_c(U)$ ; *b* – dependences cathode emission current  $I_c$  from the time  $t$  of the cathode operation

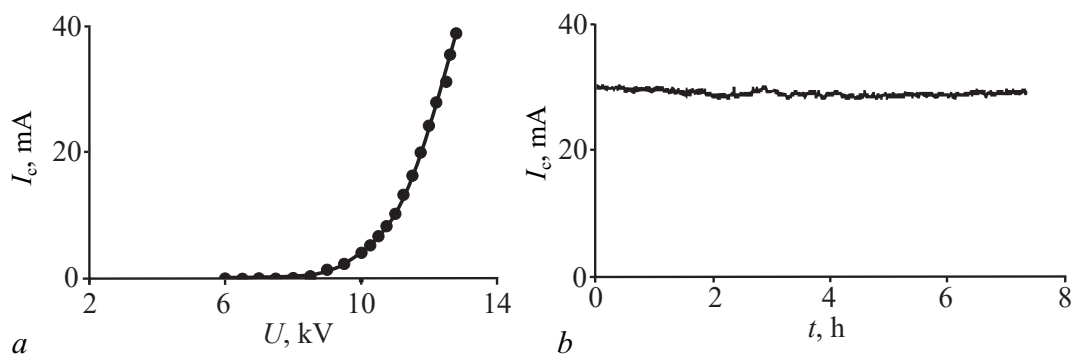


Рис. 4. Эмиссионные характеристики многослойного катода на танталовой подложке, использованного для формирования кольцевого в сечении электронного потока (АЕФ): *a* – вольт-амперная характеристика  $I_c(U)$ ; *b* – зависимость тока  $I_c$  эмиссии катода от времени  $t$  работы катода

Fig. 4. Emission characteristics of the multi-layer cathode on a tantalum substrate used to form an annular in the cross section electron flow (AEF): *a* – current-voltage characteristic  $I_c(U)$ ; *b* – dependence of the cathode emission current  $I_c$  on the cathode operation time  $t$

4...5 мА при создании SEF. Получение в непрерывном режиме токов свыше указанных предельных значений было невозможно из-за обусловленного электронной бомбардировкой перегрева управляющего электрода и коллектора измерительной системы. Визуальный контроль внешнего вида катодных систем, испытанных с отбором токов более  $I_{cm}$ , свидетельствовал о появлении деформаций катодной системы, обусловленных, видимо, сильным ее нагревом протекающими токами.

Существенно большие токи полевой эмиссии удалось получить в импульсном режиме при длительности импульсов напряжения 2 мкс и частоте их следования 80 Гц с многослойных кольцевых катодов на более высокотемпературной и более жесткой подложке из танталовой фольги. Типичные вольт-амперная характеристика  $I_c(U)$  и зависимость  $I_c(t)$  ЭОС с таким катодом показаны соответственно на рис. 4, *a* и *b*. Таким образом, в импульсном режиме, в условиях, когда удается исключить сильный перегрев деталей ЭОС, многослойные катоды на танталовой подложке позволяют получать токи полевой эмиссии в несколько десятков миллиампер, достаточные, например, для обеспечения работы востребованных на практике коротковолновых диагностических гиротронов [11].

Существенным достоинством многослойных катодов на тонких металлических подложках является не только простота их изготовления. Они обеспечивают чрезвычайно большие средние по поверхности плотности тока полевой эмиссии до 300...400 А/см<sup>2</sup>. Стабильная работа катодов такого типа в условиях технического вакуума обусловлена, видимо, тем обстоятельством, что малое по сравнению с их высотой и с расстоянием до анода уменьшение высоты многослойной структуры, вызванное ионным ее распылением, слабо влияет на полевую эмиссию структуры.

### Заключение

Подводя итоги работы, отметим важнейшие ее результаты.

- Созданы многослойные полевые эмиттеры из приведенных в контакт нанослоев гафния и платины на тонких подложках из алюминия (9 мкм) и тантала (10 мкм).
- Продемонстрирована возможность формирования с помощью катодов на тонкой металлической подложке ленточных и кольцевых в сечении электронных потоков с чрезвычайно большими средними по сечению плотностями тока полевой эмиссии ориентировочно до 300...400 А/см<sup>2</sup>.

- Продемонстрирована возможность стабильной работы исследованных многослойных катодов при отборе больших (десятки миллиампер) токов полевой эмиссии в высоковольтных (ориентировочно до 13 кВ) режимах работы электронного прибора в условиях технического вакуума.

### Библиографический список

1. *Fursey G.N.* Field Emission in Vacuum Microelectronics. NY: Kluwer Academic-Plenum Publishers, 2005. 197 p.
2. *Egorov N., Sheshin E.* Field Emission Electronics. Springer Series in Advanced Microelectronics. Vol. 60. New York: Springer, 2017. 568 p.
3. *Whaley D.R., Duggal R., Armstrong C.M. et al.* 100 W operation of a cold cathode TWT // *IEEE Transactions on Electron Devices*. 2009. Vol. 56, no. 5. P. 896–905.
4. *Spindt C., Holland C.E., Schwoebel P.R.* A reliable improved Spindt cathode design for high currents // 2010 IEEE International Vacuum Electronics Conference (IVEC), 2010, May. P. 201–202.
5. *Chen Z., Zhang Q., Lan P. et al.* Ultrahigh-current field emission from sandwich-grown well-aligned uniform multi-walled carbon nanotube arrays with high adherence strength // *Nanotechnology*. 2007. Vol. 18, no. 26. P. 5702. DOI:10.1088/0957-4484/18/26/265702
6. *Бушувев Н.А., Глухова О.Е., Григорьев Ю.А. и др.* Исследование эмиссионных характеристик многолучевой электронной пушки с автоэмиссионным катодом из стеклоуглерода // *ЖТФ*. 2016. Т. 86, № 2. С. 134–139.
7. *Абаньшин Б.И., Горфинкель Б.И., Морев С.П. и др.* Исследование процесса формирования углеродной наноразмерной автоэмиссионной структуры с ионной защитой // *ПЖТФ*. 2014. Т. 40, № 9. С. 86–94.
8. *Соминский Г.Г., Тумарева Т.А., Тарадаев Е.П., Рукавицына А.А., Гиваргизов М.Е., Степанова А.Н.* Многоострийные кольцевые полевые эмиттеры с защитными металл-фуллереновыми покрытиями // *ЖТФ*. 2019. Т. 89, № 2. С. 302–305.
9. *Соминский Г.Г., Сезонов В.Е., Тарадаев Е.П., Тумарева Т.А., Задиранов Ю.М., Корнишин С.Ю., Степанова А.Н.* Полевые эмиттеры нового типа для высоковольтных электронных устройств // *Известия вузов. Радиофизика*. 2015. Т. 58, № 7. С. 567–576.
10. *Соминский Г.Г., Сезонов В.Е., Тарадаев С.П., Вдовичев С.Н.* Многослойные полевые эмиттеры, изготовленные из приведенных в контакт нано-слоев гафния и платины // *ЖТФ*. 2019. Т. 89, № 1. С. 142–146.
11. *Glyavin M.Yu., Manuilov V.N., Sominskii G.G., Taradaev E.P., Tumareva T.A.* The concept of an electron-optical system with field emitter for a spectroscopic gyrotron // *Infrared Physics and Technology*. 2016. Vol. 78. P. 185–189.

### References

1. *Fursey G.N.* Field Emission in Vacuum Microelectronics. NY: Kluwer Academic-Plenum Publishers, 2005, 197 p.
2. *Egorov N., Sheshin E.* Field Emission Electronics. Springer Series in Advanced Microelectronics, vol. 60. New York, Springer, 2017, 568 p.
3. *Whaley D.R., Duggal R., Armstrong C.M. et al.* 100 W operation of a cold cathode TWT. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2009, vol. 56, no. 5, pp. 896–905.
4. *Spindt C., Holland C.E., Schwoebel P.R.* A reliable improved Spindt cathode design for high currents. *2010 IEEE International Vacuum Electronics Conference (IVEC)*, 2010, May, pp. 201–202.

5. Chen Z., Zhang Q., Lan P. et al. Ultrahigh-current field emission from sandwich-grown well-aligned uniform multi-walled carbon nanotube arrays with high adherence strength. *Nanotechnology*, 2007, vol. 18, no. 26, p. 5702. DOI:10.1088/0957-4484/18/26/265702
6. Bushuev N.A., Glukhova O.E., Grigor'ev Yu.A., et al. Emissivity of a multibeam electron gun with a glassy carbon field-emission cathode. *Technical Physics*, 2016, vol. 61, no. 2, pp. 290–295.
7. Aban'shin N.P., Gorfinkel' B.I., Morev S.P., Mosiyash D.S., Yakunin A.N. Autoemission structures of nanosized carbon with ionic protection. Studying the prospects of reliable control in forming structures. *Technical Physics Letters*, 2014. vol. 40, no. 5, pp. 404–407.
8. Sominskii G.G., Tumareva T.A., Taradaev E.P., Rukavitsyna A.A., Givargizov M.E., Stepanova A.N. Annular multi-tip field emitters with metal–fullerene protective coatings. *Technical Physics*, 2019, vol. 64, no. 2, pp. 270–273.
9. Sominskii G.G., Sezonov V.E., Taradaev E.P., Tumareva T.A., Zadiranov Yu.M., Kornishin S.Yu., Stepanova A.N. Innovative field emitters for high-voltage electronic devices // *Radiophysics and Quantum Electronics*, 2015, vol. 58, no. 7, pp. 511–519. DOI:10.1007/s11141-015-9624-z/
10. Sominskii G.G., Sezonov V.E., Taradaev S.P., Vdovichev S.N. Multilayer field emitters made of contacting hafnium and platinum nanolayers. *Technical Physics*, 2019, vol. 64, no. 1, pp. 116–120.
11. Glyavin M.Yu., Manuilov V.N., Sominskii G.G., Taradaev E.P., Tumareva T.A. The concept of an electron-optical system with field emitter for a spectroscopic gyrotron. *Infrared Physics and Technology*, 2016, vol. 78, pp. 185–189.



*Соминский Геннадий Гиршевич* – родился в 1935 году в Ленинграде. Окончил в 1960 году Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина (ныне Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого – СПбПУ). Защитил диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (1967) и доктора физико-математических наук (1984). Кандидатская и докторская диссертация были посвящены исследованию мощных СВЧ устройств со скрещенными полями. С 1960 года по настоящее время работает на кафедре «Физическая электроника» СПбПУ (с 2020 г. вошла в состав Высшей инженерно-физической школы СПбПУ), профессором (с 1991). В 1968 году организовал на кафедре лабораторию сильноточной и СВЧ электроники и руководит ею по настоящее время. Области основных научных интересов: процессы в пространственном заряде и их влияние на работу сильноточных электронных устройств, разработка и совершенствование полевых эмиттеров для формирования интенсивных электронных потоков. Руководитель работ по грантам Российского научного фонда №№ 16-12-10010, 16-12-10010-П. Автор более 300 печатных работ и 22 изобретений.

Россия, 195251 Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29  
 Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
 E-mail: sominski@gphf.spbstu.ru



*Сезонов Вячеслав Евгеньевич* – родился в Санкт-Петербурге (1988). Окончил СПбПУ (2011) и поступил в том же году в аспирантуру на кафедру «Физическая электроника» СПбПУ (с 2020 года вошла в состав Высшей инженерно-физической школы СПбПУ). С 2016 года работает младшим научным сотрудником. Активно участвует в выполнении научных исследований в лаборатории сильноточной и СВЧ электроники. Разрабатывает и исследует многослойные нано-структурированные полевые эмиттеры нового типа. Является одним из основных исполнителей работ по грантам Российского научного фонда №№ 16-12-10010, 16-12-10010-П. Автор 22 печатных работ и одного изобретения.

Россия, 195251 Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29  
 Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
 E-mail: sezonovve@mail.ru