



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
H01J 11/00 (2023.02)

(21)(22) Заявка: 2022130839, 25.11.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
25.11.2022

Дата регистрации:  
04.10.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.11.2022

(45) Опубликовано: 04.10.2023 Бюл. № 28

Адрес для переписки:

634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3,  
Институт сильноточной электроники СО РАН,  
зам. директора по НР ИСЭ СО РАН,  
Батракову А.В.

(72) Автор(ы):

Тарасенко Виктор Федотович (RU),  
Бакшт Евгений Хаимович (RU),  
Сорокин Дмитрий Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт сильноточной  
электроники Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)  
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: WILLIAMS E., Calibrated radiance  
measurements with an air-filled glow discharge  
tube: Application to sprites in the mesosphere. In  
Sprites, Elves and Intense Lightning Discharges  
2006, p. 237-251. RU 2541661 C1, 20.02.2015. RU  
2343650 C2, 10.01.2009. US 20220024613 A1,  
27.01.2022. US 20140152016 A1, 05.06.2014. US  
20220244425 A1, 04.08.2022.

(54) Устройство для экспериментального моделирования разрядов красных спрайтов

(57) Реферат:

Изобретение относится к области создания устройств для экспериментального моделирования высотных разрядов в мезосфере Земли, а именно красных спрайтов, путем формирования стримеров. Технический результат – обеспечение возможности моделировать последовательность физических процессов в «столбчатых» красных спрайтах и прогнозировать поведение красных спрайтов другой формы. Устройство содержит камеру, изготовленную из прозрачной трубки, заполненную воздухом низкого давления, а также электродный узел, подключаемый к источнику питания. Для формирования стримеров, распространяющихся в одном направлении, электроды расположены напротив друг друга, у одного из торцов трубки вплотную к ее внешней стенке, а для формирования разнонаправленных

стримеров электроды устанавливаются в центральной части трубки. При этом к электродам подключен импульсно-периодический источник высокого напряжения с длительностью фронта импульса 0.05-10 мкс и амплитудой, достаточной для пробоя воздуха в трубке на фронте импульса напряжения при давлениях воздуха 0.04-3 Торр. Эксперименты показали, что мощность излучения, содержащаяся в определяющих, визуально наблюдаемый и фотографируемый цвет спрайтов полосах первой положительной системы азота при давлениях, характерных для формирования атмосферных красных спрайтов, на порядок и более меньше мощности излучения на ультрафиолетовых переходах второй положительной системы азота. 2 ил.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*H01J 11/00 (2023.02)*

(21)(22) Application: **2022130839, 25.11.2022**

(24) Effective date for property rights:  
**25.11.2022**

Registration date:  
**04.10.2023**

Priority:

(22) Date of filing: **25.11.2022**

(45) Date of publication: **04.10.2023** Bull. № 28

Mail address:

**634055, g. Tomsk, pr. Akademicheskij, 2/3, Institut  
silnotochnoj elektroniki SO RAN, zam. direktora  
po NR ISE SO RAN, Batrakovu A.V.**

(72) Inventor(s):

**Tarasenko Viktor Fedotovich (RU),  
Baksht Evgenij Khaimovich (RU),  
Sorokin Dmitrij Alekseevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe  
uchrezhdenie nauki Institut silnotochnoj  
elektroniki Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj  
akademii nauk (ISE SO RAN) (RU)**

(54) **DEVICE FOR EXPERIMENTAL SIMULATION OF DISCHARGES OF RED SPRITES**

(57) Abstract:

FIELD: aerophysics.

SUBSTANCE: creating devices for experimental modeling of high-altitude discharges in the Earth's mesosphere, namely red sprites, by forming streamers. The device contains a chamber made of a transparent tube filled with low pressure air, as well as an electrode assembly connected to a power source. For the formation of streamers propagating in one direction, the electrodes are located opposite each other, at one of the ends of the tube close to its outer wall, and for the formation of multidirectional streamers, the electrodes are installed in the central part of the tube. At the same time, a repetitively pulsed high voltage source with a pulse front duration of 0.05–10 μs and an amplitude sufficient for air breakdown in the tube at

the voltage pulse front at air pressures of 0.04–3 Torr is connected to the electrodes. Experiments have shown that the radiation power contained in the bands of the first positive nitrogen system that determine the visually observed and photographed color of sprites at pressures characteristic of the formation of atmospheric red sprites is an order of magnitude or more less than the radiation power at ultraviolet transitions of the second positive nitrogen system.

EFFECT: providing the possibility to simulate the sequence of physical processes in columnar red sprites and to predict the behavior of red sprites of a different shape.

1 cl, 2 dwg

Изобретение относится к электроразрядным устройствам, в которых источником свечения является плазма, образующаяся при электрическом разряде в газовой среде, и может быть использована в лабораторных условиях для экспериментального моделирования высотных разрядов, а именно «столбчатых» и других красных спрайтов, наблюдаемых в мезосфере Земли. Цветная фотография «столбчатых» красных спрайтов, которая получена при одном высотном разряде, имеющем сложную структуру, приведена на Фиг. 1. Прямые части красных спрайтов состоят из волн ионизации (стримеров). Изобретение может быть использовано в научных лабораториях для изучения различных свойств разрядов красных спрайтов, в частности, условий их инициирования и распространения на различных высотах над уровнем моря, что улучшит качество прогнозирования свойств атмосферы Земли, при появлении красных спрайтов.

Ввиду больших высот от поверхности Земли, на которых развиваются высотные разряды (транзиентные световые явления), эти разряды начали интенсивно исследоваться сравнительно недавно. Одним из типов этих разрядов являются спрайты, которые наблюдаются на высотах 40-100 км, имеют на фотографиях и при визуальных наблюдениях красный цвет, а также сопровождаются излучением в других спектральных диапазонах [1, 2]. Красные спрайты развиваются на больших пространственных масштабах, их размеры достигают нескольких десятков километров в длину, а поперечные сечения области их формирования составляют десятки квадратных километров. Спрайты обычно состоят из нескольких красных каналов цилиндрической («столбчатые» спрайты) или конусообразной формы, распространяющихся как к поверхности Земли, так и в сторону термосферы. Установлено, что разряд в красных спрайтах формируется по стримерному механизму и отдельные «столбы» спрайтов состоят стримеров [1, 2]. Кроме «столбчатых», наблюдаются спрайты сложной формы, отдельные части которых, также являющиеся стримерами, распространяются в различных направлениях, в том числе, в противоположных. При формировании красных спрайтов в ряде работ регистрировались рентгеновское излучение и пучки убегающих электронов. Сообщалось, что их появление может оказывать влияние на радиосвязь. Свойства красных спрайтов изучаются в наземных лабораториях, а также с помощью аппаратных комплексов, устанавливаемых на борту самолетов, на спутниках и на Международной космической станции [3, 4]. Однако исследования реально существующих природных явлений очень сложны и требуют больших материальных затрат. Поэтому создаются экспериментальные установки для моделирования красных спрайтов в лабораторных условиях, которые имеют сравнительно малые размеры.

Известны устройства для формирования стримеров в атмосферном воздухе и других газах за счет зажигания предварительного разряда между двумя заостренными электродами [5, 6]. Электроды располагаются в трубке из кварца и ориентированных под углом друг относительно друга. В результате подачи импульсно-периодического напряжения между этими электродами формируется изогнутый разрядный канал. С изгиба разрядного канала распространяются плазменные струи, состоящие из отростка и стримера. Формирование плазменной струи обусловлено усилением напряженности электрического поля на изгибе канала. При этом, у изгиба вначале формируется отросток из более плотной плазмы, на окончание которого выносятся основная доля потенциала, а далее с отростка стартует стример. Данный режим разряда было предложено называть апокампическим разрядом, а отросток, вместе со стартующим от него стримером, апокампом [5]. Цветные фотографии апокампа приведены в [5, 6]. Апокампы формируются при разных давлениях воздуха, в том числе атмосферном. Их

появление, а также длина, зависят от амплитуды и длительности импульсов напряжения, которые должны иметь положительную полярность, а также давления воздуха. Частота следования апокампов, полученная в экспериментах, могла составлять от единиц герц до десятков килогерц и зависит от параметров источника питания.

5 К недостаткам устройств с апокампическим разрядом, следует отнести наличие внутри трубки металлических электродов, что не согласуется с условиями формирования природных красных спрайтов. В случае спрайтов и других высотных разрядов отсутствует контакт с металлическими электродами. Во-вторых, цвет апокампа при малых давлениях хотя и имеет красноватый оттенок, но существенно отличается от цвета красных спрайтов (см. цветную фотографию спрайта на Фиг. 1) и фотографии апокампов, которые приведены в публикациях [5, 6]. В-третьих, апокамп состоит из двух частей: отростка, имеющего белый цвет, который в ряде случаев может иметь длину большую, чем у стримера, и стримера. В «столбчатых» красных спрайтах подобные отростки отсутствуют.

15 Наиболее близким к заявляемому изобретению по спектру излучения, цвету разряда, наблюдаемому визуально и фотографически, а также по конструктивному исполнению, является устройство, описанное в [7]. Данное устройство было принято в качестве прототипа. Устройство состоит из прозрачной трубки, внутри которой с двух сторон размещаются металлические электроды, подключенные к источнику постоянного или импульсного напряжения. Трубка заполнена воздухом низкого давления и в ней зажигается тлеющий разряд, который, как было установлено в [7], при давлении около 20 1.2 Торр имеет красный цвет, а его спектр излучения подобен спектру спрайтов. Цветная фотография интегрального свечения плазмы тлеющего разряда, реализуемого в устройстве, принятом в качестве прототипа, приведена в [7].

25 К недостаткам прототипа следует отнести то, что механизмы формирования разрядов в прототипе и красных спрайтах принципиально отличаются. В отличие от тлеющего разряда, в красных природных спрайтах реализуется стримерный механизм пробоя [1-4]. Во-вторых, при красном цвете положительного столба тлеющего разряда у катода имеется обширная область голубого цвета, отсутствующая в «столбчатых» спрайтах. В-третьих, металлические электроды размещены внутри прозрачной трубки. Соответственно, условия формирования разряда в прототипе отличаются от тех, при которых формируются природные атмосферные разряды в мезосфере Земли.

30 Задачей предлагаемого изобретения является создание установки для получения в лабораторных условиях протяженных стримеров красного цвета при давлениях воздуха 0.04-3 Торр. Эта область давлений соответствует давлениям, при которых наблюдаются красные спрайты.

Технический результат решаемой задачи - формирование однонаправленных и разнонаправленных стримеров, распространяющихся в газоразрядной трубке от формируемой в локальной области плазмы.

40 Указанный технический результат был реализован в предлагаемом устройстве для экспериментального моделирования разрядов красных спрайтов, в том числе «столбчатых», содержащем оснащенную электродами камеру, изготовленную из кварцевой трубки и заполненную воздухом низкого давления, а также имеющем подключаемый к электродам источник питания. Согласно изобретению, устройство отличается тем, что для формирования стримеров, распространяющихся в одном направлении, электроды расположены напротив друг друга у одного из торцов трубки вплотную к ее внешней стенке, а для формирования разнонаправленных стримеров, электроды устанавливаются в центральной части трубки, при этом, к электродам

подключен импульсно-периодический источник высокого напряжения с длительностью фронта импульса 0.05-10 мкс и амплитудой, достаточной для пробоя воздуха в трубке на фронте импульса напряжения при давлениях 0.04-3 Торр.

На Фиг. 2 (а, б) схематично представлено заявляемое устройство. Показаны продольные-сечения двух разрядных трубок, в которых демонстрируется свечение стримеров при их распространении в одном (а) и двух противоположных направлениях (б).

Импульсный источник питания 1 подключен к электродам 2 и 3, которые установлены на одной из сторон кварцевой трубки 4 (а), или в ее средней части (б). Также на Фиг. 2 показано свечение стримеров 5, которое на цветных фотографиях имеет красный цвет. Импульсный источник питания 1 соединен с электродами 2, 3 посредством проводов 6.

Поскольку плотность мощности излучения в красных спрайтах и в данном устройстве мала, а размеры предлагаемого устройства на несколько порядков меньше, чем размеры природных «столбчатых» спрайтов, то для увеличения яркости излучения используется источник питания, работающий в импульсно-периодическом режиме (обычно единицы-десятки килогерц). Это позволяет стандартным цифровым фотоаппаратом SONY A100 при коротких экспозициях в результате наложения нескольких тысяч импульсов получить фотографии стримеров высокого качества (показаны на Фиг. 2), а также визуально наблюдать свечение стримеров в различных условиях.

Устройство для экспериментального моделирования красных спрайтов работает следующим образом. Кварцевая трубка заполняется воздухом при давлениях, соответствующих тем, что имеют место на высотах, где возникают и распространяются красные спрайты. При проведении испытаний устройства давления воздуха составляли 0.04-3 Торр, что соответствует диапазону высот над уровнем моря 70-40 км. Выбор указанного диапазона давлений был обусловлен тем, что на этих высотах наблюдались красные спрайты [1-4]. От источника питания к электродам, находящимся снаружи трубки прикладываются импульсы напряжения с длительностью фронта 0.05-10 мкс и амплитудой достаточной для пробоя воздуха при указанных давлениях воздуха. При давлениях 0.04-3 Торр и внутреннем диаметре кварцевой трубки 50 мм стримеры формировались при подаче на межэлектродный зазор импульсов напряжения амплитудой  $\geq 2$  кВ. Стримеры инициировались у зоны между электродами, заполненной плазмой, создаваемой при пробое воздуха на фронте импульса напряжения. Затем стримеры распространялись вдоль трубки. Оптимальный диапазон длительностей фронта импульсов напряжения составил 0.05-10 мкс. При увеличении длительности фронта импульса напряжения более 10 мкс формирование стримеров становилось нестабильным, а при длительности фронта 0.05 мкс и менее увеличение электромагнитных помех мешало проведению измерений. Увеличение амплитуды импульса напряжения до 7 кВ приводило к увеличению длины плазменного образования, формируемого при прохождении стримеров, а также скорости распространения фронта стримера. При дальнейшем повышении амплитуды импульса напряжения стримеры достигали торца кварцевой трубки и режим разряда начинал изменяться. Полярность источника питания могла быть как положительной, так и отрицательной. Изменение давления воздуха оказывало влияние на конкретные характеристики стримеров (их размеры, скорость ее фронта, спектр излучения, приведенную напряженность электрического поля, электронную, колебательную и вращательную температуру плазмы). Таким образом, в данных условиях в трубке формировались аналоги «столбчатых» красных спрайтов стримеры, их также называют плазменными

диффузными струями. Как показали испытания, свойства стримеров (диффузных струй) были подобны свойствам красных спрайтов для аналогичных давлений. Стримеры красного цвета были получены в диапазоне давлений от 0.04 до 3 Торр. В прототипе красный цвет тлеющего разряда, соответствующий цвету спрайтов, наблюдался только при давлении около 1.2 Торр в области положительного столба, а у катода цвет разряда оставался голубым. С помощью предлагаемого устройства, в частности, было установлено, что при постоянной амплитуде 7 кВ импульсов напряжения от источника питания, скорость фронта стримера увеличивается от 1 до 15 см/нс с уменьшением давления от 1.5 до 0.2 Торр. Такие скорости были зафиксированы при распространении фронта природных «столбчатых» спрайтов [1, 2].

Таким образом, предлагаемое устройство при давлениях воздуха от 0.04 до 3 Торр позволяет формировать в лабораторных условиях при длине кварцевой трубки 120 см и ее внутреннем диаметре 50 мм протяженные стримеры красного цвета, являющиеся миниатюрными аналогами красных спрайтов, наблюдаемых в мезосфере Земли. Продольные размеры стримеров зависят от давления воздуха и амплитуды прикладываемого к электродному узлу импульса напряжения. При этом, было установлено, что мощность излучения УФ полос второй положительной системы азота, при давлениях характерных для спрайтов, на порядок и более превышает мощность излучения полос первой положительной системы азота в красном диапазоне спектра, которая определяет видимый и фотографируемый цвет спрайтов. Следовательно, как было показано с помощью предлагаемой установки, красные спрайты имеют мощное излучение в УФ области спектра. Дальнейшее применение предлагаемого устройства расширит имеющиеся знания о процессах при появлении красных спрайтов и сопутствующих им разрядов, а также о различных видах электромагнитного и корпускулярного излучения, которые регистрируются в верхних слоях атмосферы при их формировании.

#### Источники информации

1. Pasko V.P. Red sprite discharges in the atmosphere at high altitude: the molecular physics and the similarity with laboratory discharges // Plasma sources science and technology, 2007. V. 16. P. S13.
2. Kanmae T, Stenbaek-Nielsen HC, McHarg MG, Haaland RK. Diameter-Speed Relation of Sprite Streamers. J. Phys. D: Appl. Phys. (2012) 45(27): 275203.
3. Sentman, D.D., Wescott, E.M., Osborne, D.L., Hampton, D.L. and Heavner, M.J., 1995. Preliminary results from the Sprites94 aircraft campaign: 1. Red sprites. Geophysical Research Letters, 22(10), pp.1205-1208.
4. Neubert, T., Østgaard, N., Reglero, V., Blanc, E., Chanrion, O., Oxborrow, C.A., Orr, A., Tacconi, M., Hartnack, O. and Bhandari, D.D., 2019. The ASM mission on the international space station. Space Science Reviews, 215(2), pp.1-17.
5. Tarasenko, V.F., Sosnin, E.A., Skakun, V.S., Panarin, V.A., Trigub, M.V. and Evtushenko, G.S., 2017. Dynamics of apokamp-type atmospheric pressure plasma jets initiated in air by a repetitive pulsed discharge. Physics of Plasmas, 24(4), p.043514.
6. Соснин, Э.А., Бабаева, Н.Ю., Кожевников, В.Ю., Козырев, А.В., Найдис, Г.В., Панарин, В.А., Скакун, В.С. и Тарасенко, В.Ф., 2021. Моделирование транзитных световых явлений средней атмосферы Земли с помощью апокампиического разряда. Успехи физических наук, 191(2), pp.199-219.
7. Williams, E., Valente, M., Gerken, E. and Golka, R., 2006. Calibrated radiance measurements with an air-filled glow discharge tube: Application to sprites in the mesosphere. In Sprites, Elves and Intense Lightning Discharges (pp.237-251). Springer, Dordrecht.

## (57) Формула изобретения

Устройство для экспериментального моделирования разрядов красных спрайтов, наблюдаемых в мезосфере Земли, при формировании стримеров, содержащее герметичную разрядную камеру, изготовленную из оптически прозрачной трубки, 5 заполненную воздухом, и два электрода, подключенные к источнику питания, отличающееся тем, что для формирования стримеров, распространяющихся в одном направлении, электроды расположены напротив друг друга у одного из торцов трубки вплотную к ее внешней стенке, а для формирования разнонаправленных стримеров 10 электроды устанавливаются в центральной части трубки, при этом к электродам подключен импульсно-периодический источник высокого напряжения с длительностью фронта импульса 0.05-10 мкс и амплитудой, достаточной для пробоя воздуха в трубке на фронте импульса напряжения при давлениях 0.04-3 Торр.

15

20

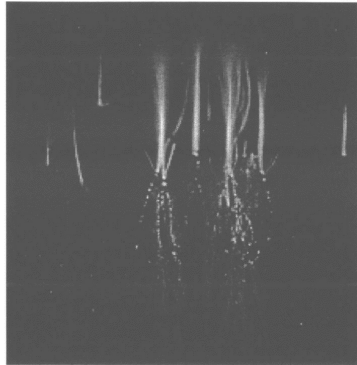
25

30

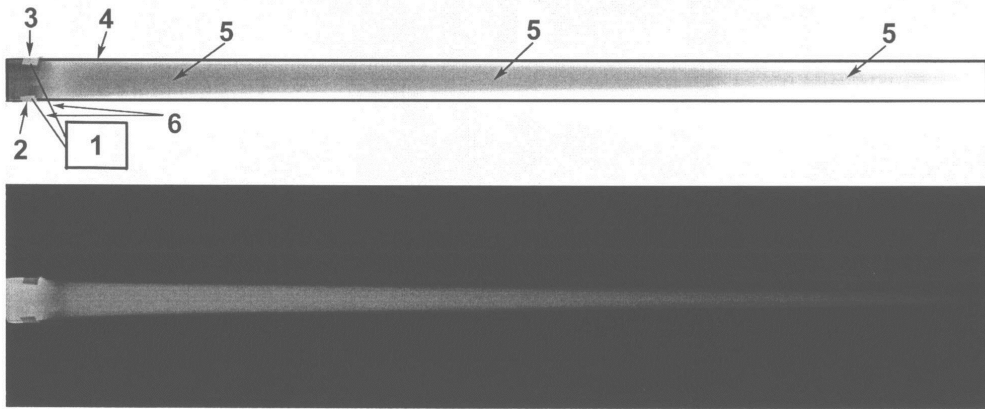
35

40

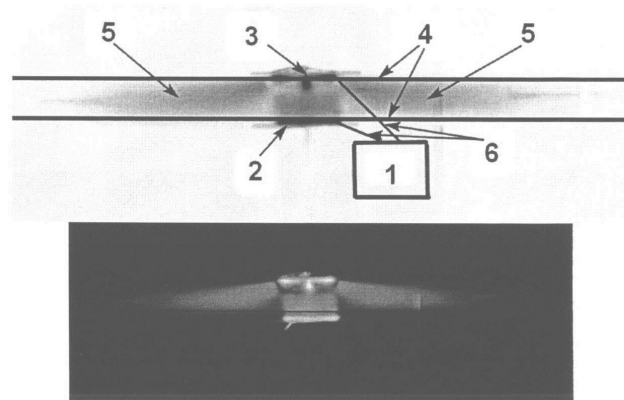
45



Фиг. 1



*a*



*б*

Фиг. 2