

УДК 621.384.6

Г.Ф. Коняхин¹, В.Л. Верещагин¹, Р.А. Яценко²¹ Українська інженерно-педагогічна академія, Харків² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Предложен автономный источник электрической энергии (атомная батарея) с большим сроком активного существования, в котором за счет аномально большой эмиссии электронов увеличивается коэффициент полезного действия и возрастает его электродвижущая сила.

Ключевые слова: атомная батарея, эмиссия электронов, радиоактивный распад, β -частицы, ионизационное сечение столкновения, электродвижущая сила.

Введение

Постановка задачи и анализ литературы.

Исторически первый радиоизотопный источник электрической энергии (Beta Cell) был создан и представлен британским физиком Г. Мозли в 1913. Он представлял собой (по современной классификации) атомный элемент – стеклянную сферу, посеребренную изнутри, в центре которой на изолированном электроде располагался радиевый источник ионизирующей радиации. Электроны, излучаемые при бета-распаде, создавали разность потенциалов между серебряным слоем стеклянной сферы и электродом с радиевой солью.

Первые практически применяемые радиоизотопные генераторы появились в середине XX века в СССР и США, в связи с освоением космического пространства и появлением достаточно большого количества осколков деления ядерного топлива (из суммы которого и получают необходимые изотопы методами радиохимической переработки).

Одним из веских оснований к применению радиоизотопных источников энергии служит ряд преимуществ перед другими источниками энергии (практическая необслуживаемость, компактность и др.), и решающим основанием явилась громадная энергоёмкость изотопов. Практически по массовой и объёмной энергоёмкости распад используемых изотопов уступает лишь делению ядер урана, плутония и др. в 4 – 50 раз, и превосходит химические источники (аккумуляторы, топливные элементы и др.) в десятки и сотни тысяч раз, съёмом зарядов (α - или β -частиц), испускаемых радиоактивным веществом при его распаде и со съёмом зарядов с газовой или полупроводниковой нагрузки [1]. Имеются атомные батареи с преобразованием энергии ядерного распада в излучение в оптически активных средах (фотоэлектрические батареи) [2]. В литературе описаны также атомные батареи с полупроводниковой нагрузкой, когда частицы радиоактивного распада генерируют в полупроводниковых структурах свободные заряды [3]. Недос-

татком перечисленных выше технических решений являются ограниченная мощность этих устройств, невысокая стабильность параметров. Кроме того, такие устройства громоздки, требуют тяжелой радиационной защиты. В работе [4] описан источник электрической энергии (атомная батарея), основными элементами которого являются два электрода (эмиттер и коллектор), установленные на некотором расстоянии друг от друга (единицы миллиметров) и изолятора, размещенного по периметру между электродами. На одном из электродов (эмиттере) размещалась фольга из β -радиоактивного вещества (например, из Tm-170) толщиной 30...50 мкм. В межэлектродном пространстве находился остаточный газ (воздух) при давлении порядка 10^{-4} мм рт. ст. Характерно, что оба электрода были выполнены из металлов с максимальной разностью контактных потенциалов. В такой атомной батарее могут быть получены значения электродвижущей силы (ЕРС) до 50 кВ и коэффициент полезного действия (ККД) порядка 1% (в вакуумном режиме) и значения ЕРС 20..25 кВ с ККД около 4% и давлении воздуха порядка 10^{-4} мм рт. ст. (ККД определяется как отношение полученной электрической мощности к энергии распада).

Недостатками рассмотренной атомной батареи являются сравнительно небольшой ток эмиссии и малый коэффициент полезного действия. Эти недостатки обусловлены следующими причинами. Излучение β -частиц при распаде радиоактивного вещества имеет угловое распределение, близкое к изотропному [5]. Поэтому в среднем половина β -частиц будет поглощаться в теле электрода, на поверхности которого расположена фольга с радиоактивным изотопом. Это увеличивает теплонапряженность конструкции, уменьшает ее ККД (по крайней мере в 2 раза). В этом устройстве в качестве среды для усиления тока используют остаточный газ. Длина свободного пробега β -частицы с энергией ϵ в газе с плотностью n равна [6]

$$\lambda(\epsilon) = 1/n\sigma(\epsilon),$$

где $\sigma(\epsilon)$ – ионизационное сечение столкновения β -частицы с атомом газа определенного сорта. При давлении $p=10^{-4}$ мм рт.ст. ($n=10^{12}$ см $^{-3}$) и энергией $\epsilon = 100$ кэВм – $\sigma(\epsilon) \approx 10^{-17}$ см 2 . Откуда следует, что $\lambda(\epsilon) \approx 10^5$ см. Но расстояние между электродами должно быть минимальным (d единицы мм), так как при этом работа по перемещению зарядов в поле сил зеркального отражения будет малой [7]. Поэтому вероятность ионизационных столкновений и коэффициент усиления тока будут невелики. При пониженном давлении ($p \leq 1$ мм рт.ст.) устройство работает в режиме интенсивного размножения электронов, так как $\lambda \gg d$. Однако в этом случае при распространении β -частиц через газ значительная доля их кинетической энергии расходуется на нагрев газа, и только часть энергии расходуется на ионизацию. Именно по этой причине коэффициент умножения тока в газе не превышает величины 100. Кроме этого, в этом случае сильно падает электродвижущая сила (до 0,1 В), что снижает ККД устройства.

Целью работы является разработка атомной батареи, в которой за счет аномально большой эмиссии электронов увеличивается коэффициент полезного действия источника тока и возрастает его электродвижущая сила.

Основная часть

Нами предлагается источник электрической энергии (атомная батарея), структурная схема которой приведена на рис. 1.

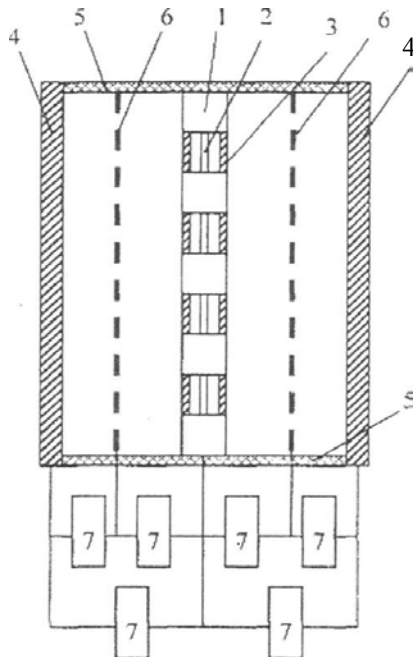


Рис. 1. Источник электрической энергии
 1 – эмиттер, 2 – β -радиоактивное вещество,
 3 – металлическая пленка, 4 – коллекторы,
 5 – изолятор, 6 – собирающие сетки,
 7 – нагрузки

Предлагаемое техническое решение состоит из эмиттера, выполненного в виде сот, в полых ячейках которого размещено – радиоактивное вещество, закрытое металлической пленкой, коллекторов, отделенных от эмиттера изолятором.

Устройство содержит также сетки, размещенные между эмиттером и коллекторами, и нагрузки.

Работа предложенного устройства происходит следующим образом. При распаде β -радиоактивного вещества возникают β -частицы с энергией $\epsilon = 0,1$ МэВ. Они проходят через металлическую пленку, возбуждая в ее кристаллической решетке вторичные электроны. Энергия этих возбужденных электронов оказывается больше работы выхода электронов из металла, поэтому эти электроны покидают металл. Так как энергия этих электронов порядка 10 эВ, то они попадают на собирающие сетки, создавая электродвижущую силу. Часть первичных электронов распада (β -частиц), не отдавших значительной доли своей энергии при прохождении через металлическую пленку (для этого толщина металлической пленки выбирается меньше длины свободного пробега β -частицы в этой пленке), имеют энергию $\epsilon = 10$ эВ, поэтому оседают на коллекторах.

Оценим потери энергии β -частиц. Наличие металлической пленки (например, из бериллия) определенной толщины позволяет обеспечить интенсивную эмиссию электронов при прохождении через нее β -частиц. В основе этой аномальной эмиссии лежит процесс формирования функции распределения возбужденных электронов в металле степенного (а не максвелловского) типа [8]. При степенном распределении плотность эмиссии j значительно выше, чем при максвелловском, и зависит от энергии первичной β -частицы, типа металла

$$j = j(\epsilon, \epsilon_F),$$

где ϵ_F – энергия Ферми, зависящая от рода вещества.

Экспериментально появление аномально большой эмиссии электронов за счет степенного возбуждения показано в работе [9].

Оценим потери энергии β -частиц на ионизацию в веществе и длину свободного пробега λ . Для β -частиц с энергией ϵ в сотни кэВ величина свободного пробега определяется как

$$\lambda = 10^{-3} \epsilon^{1/3}, \text{ кэВ,}$$

а потери энергии β -частиц на возбуждение электронов решетки (ионизационные потери) определяются по формуле Бете. Из этих данных можно найти число возбужденных электронов n_e с энергией, превышающей работу выхода.

Для пленок из бериллия толщиной $\lambda < d$ (но не более в 2..3 раза) число $n_e \leq 10^2 \dots 10^3$ для энер-

гий $\varepsilon = 0,5$ МэВ. Энергия этих вторичных электронов не превышает значения потенциала $\varphi = 10$ В, и они перехватываются сетками. Так как $\lambda \ll d$, то часть первичных высокоэнергетических электронов, возникших при радиоактивном распаде, проходит через металлическую пленку без заметных затрат энергии. В частности, если $\lambda = 0,8d$, то около 25% частиц радиоактивного распада вообще не испытывают столкновений с кристаллической решеткой металлической пленки и покинут изотоп с энергией порядка 0,5 МэВ [10]. Естественно, что эти частицы не будут оседать на сетках, а попадут на коллекторы.

Максимально возможный потенциал коллекторов относительно эмиттера будет равен 0,5 МэВ, а ток с единицы поверхности

$$J = 0,25 \cdot 3 \cdot 10^{10} \sigma_p, \text{ А/см}^2,$$

где σ_p – активность радиоактивного вещества в микрокури.

Таким образом, металлическая пленка играет роль усилителя, толщина которой позволяет изменять энергетический спектр частиц и их число. Предложенное устройство осуществляет эмиссию частиц с эмиттера в разные стороны (в стороны обоих коллекторов), что значительно повышает коэффициент полезного действия. Сотовая конструкция эмиттера обеспечивает ее механическую прочность.

Коэффициент полезного действия предложенного источника электрической энергии достигает 20% при одновременном увеличении тока и электродвижущей силы, что значительно выше, чем в известных атомных батареях.

Выводы

Предложенный источник электрической энергии (атомная батарея), в которой применены собирающие сетки, дополнительный коллектор и металлическая пленка, играющая роль усилителя тока, за счет аномально большой эмиссии электронов позволяет, по крайней мере, на порядок увеличить коэффициент полезного действия источника электриче-

ской энергии по сравнению с известными, а также значительно повысить электродвижущую силу и протекающий ток. Кроме того, в таком устройстве значительно снижены массогабаритные параметры по сравнению с известными.

Список литературы

1. Фрадкин Г.М. Радиоизотопные генераторы электрической энергии / Г.М. Фрадкин, В.М. Кодюков. – М.: Атомиздат, 1972. – 270 с.
2. Тимофеев П.В. Атомный источник высокого напряжения / П.В. Тимофеев, Ю.А. Семченко // Атомная энергия, 1964. – Т. 16, № 4. – С. 351-356.
3. Miller P. / P. Miller // Phys. Rev., 1945. – V. 69. – № 11/12. – P. 666.
4. Теоретические и экспериментальные исследования нетеплового преобразования энергии / В.М. Кодюков и др. // Радиационная техника. – М.: Атомиздат, 1975. – Вып. 11. – С. 67-77.
5. Кармесс У. Источники энергии на радиоактивных изотопах / У. Кармесс, Д. Харви. – М.: Мир, 1967. – 207 с.
6. Вальтер А.К. Ядерная физика / А.К. Вальтер, И.И. Залобовский. – Х.: Основа, 1991. – 322 с.
7. Ландау Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: ГИИТЛ, 1957. – С. 22-29.
8. Моисеев С.С. О возможности использования неравновесных распределений для создания радиационных катодов / С.С. Моисеев, В.Е. Новиков. – Препринт ХФТИ, 1977. – № 77. – 24. – С. 3-9.
9. Knucht W. / W. Knucht // Appl. Phys. / Zett., 1965. – V.6. – P. 102.
10. Краткий справочник инженера-физика. – М.: Госатомиздат, 1961. – С. 386.
11. Диагностика плазмы: сб. статей / Под общ. ред. Р. Хаддлстоуна, С. Монарда. – М.: Мир, 1967. – 453 с.
12. Энгель Д. Ионизованные газы / Д. Энгель. – М.: ФМ, 1959. – 38 с.

Поступила в редколлегию 1.07.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.М. Сотников, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ДЖЕРЕЛО ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Г.Ф. Коняхін, В.Л. Верещагін, Р.А. Яценко

Запропоновано автономне джерело електричної енергії (атомну батарею) з більшим строком активного існування, у якому за рахунок аномально великої емісії електронів збільшується коефіцієнт корисної дії і зростає його електрорушійна сила.

Ключові слова: атомна батарея, емісія електронів, радіоактивний розпад, β -частки, іонізаційний перетин зіткнення, електрорушійна сила.

ELECTRIC ENERGY SOURCE

G.F. Konyakhin, V.L. Vereschagin, R.A. Yatsenko

An autonomous electric energy (atomic battery) source is offered with the large term of active existence in which due to anomalous an output-input ratio is increased large emission of electrons and and his electromotive force increases.

Keywords: atomic battery, emission of electrons, radioactive-decay, β -chasticy, ionization section of collision, electromotive force.