

543.

5. Christine Allen and Alfredo Santillan An improved model of the galactic mass distribution for orbit computations // *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica*. 1991. №22. P. 255-263.
7. Walter Dehnen A family of potential-density pairs for spherical galaxies and bulges // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 1993. №265. P. 250-256.
8. O. Bienaymé and G. Traven Approximate integrals of motion // *Astronomy and Astrophysics*. 2013. 549, A89.
9. Euaggelos E. Zotos A rational galactic potential with accurate periodic orbits and quasi-integrals of motion // *Astronomical and Astrophysical Transactions (AApTr)*, 2012, V. 27, №4, P. 625-634,

УДК 537.533; 621.384, 621.785

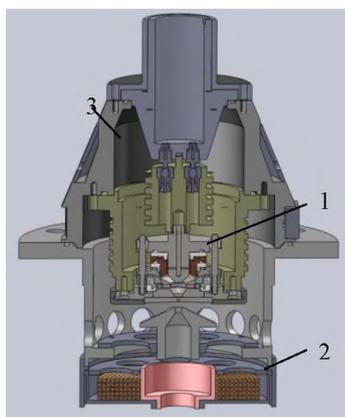
ВЫСОКОПЕРВЕАНСКИЙ ПЛАЗМЕННЫЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Солдатенко Павел Николаевич

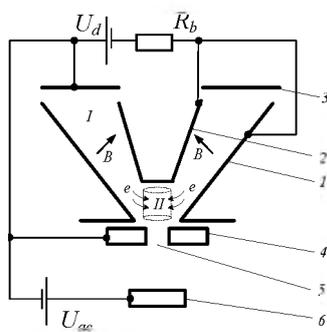
Ассистент кафедры физики Полоцкого государственного университета,
Новополоцк, Беларусь
Научный руководитель – Д.А. Антонович

К настоящему времени электронно-лучевые технологии нашли достаточно широкое применение в различных отраслях. Это стимулировало разработку источников электронов, реализующих широкий спектр технологических параметров, различающихся по мощности, плотности тока, режимам работы, газодинамическим условиям. Многообразие требований, предъявляемых к технологическим электронным пучкам, не удается реализовать в источниках одного типа. Наибольшее распространение получили три основных типа источников пучков электронов – источники электронов с термокатодом, источники на основе высоковольтных тлеющих разрядов и плазменные источники электронов [1]. В данной работе представлена конструкция плазменного высокопереванского источника электронов на основе разряда в скрещенных $E \times H$ полях, для реализации широкого спектра электронно-лучевых технологий.

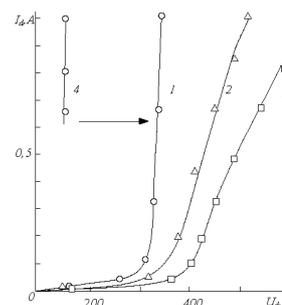
На рис. 1 приведена конструкция (а) и электродная структура (б) плазменного источника электронов в котором реализованы принципы формирования эмиссионного тока за счёт создания условий переключения без осевой неоднородности плазмы с ограничением эффективности извлечения как в более известных источниках электронов на основе полого катода [1].



а)



б)

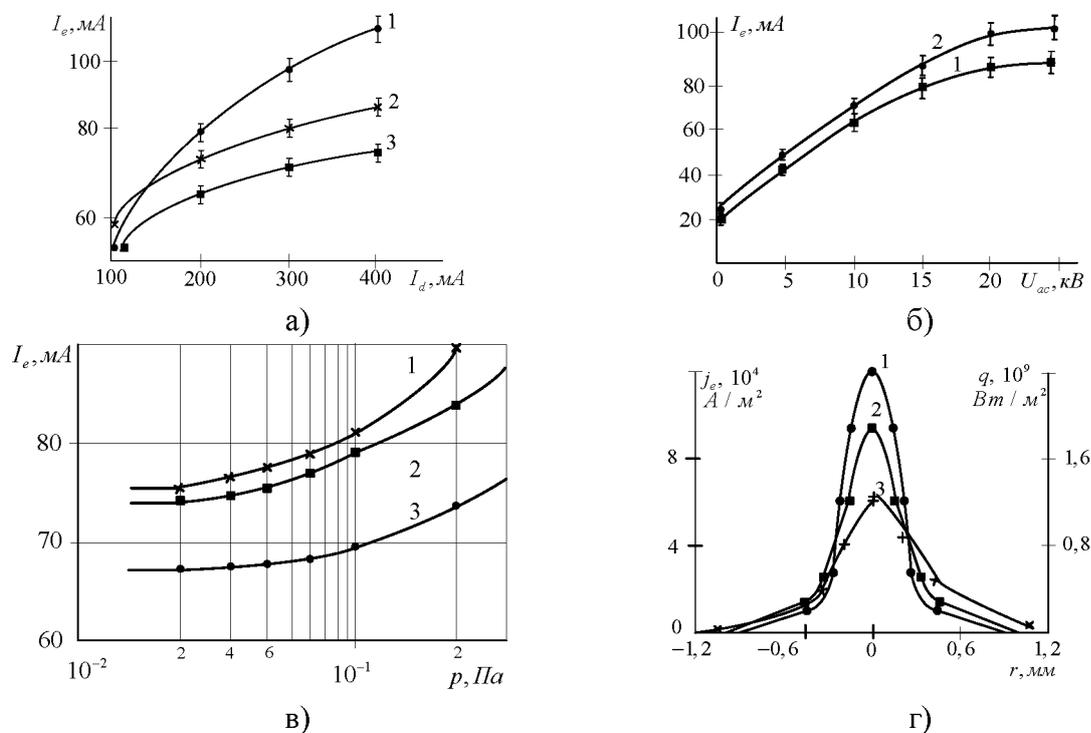


в)

a – 1 – генератор плазмы; 2 – магнитная линза; 3 – корпус
б – 1 – внешний катод; 2 – внутренний катод; 3 – анод; 4 – эмиттерный электрод;
 5 – эмиссионный канал; 6 – ускоряющий электрод;
 U_d – напряжение горения разряда; U_{ac} – ускоряющее напряжение; R_b – балластное сопротивление; B – индукция магнитного поля
 v – напуск газа, $\text{мПа}\cdot\text{м}^3/\text{с}$: 1 – 2,8; 2, 4 – 1,7; 3 – 1,25
 Рисунок-1. – Плазменный источник электронов:
a – конструкция; *б* – электродная структура; *в* – вольтамперные характеристики источника электронов

Разряд возбуждается в пространстве между катодами 1 и 2 (а) (область I, рис. 1, б). Плазмообразующий газ подается в пространство между катодами, а перепад давлений, обеспечивается геометрией эмиссионного канала. Формирующаяся в разряде между катодами плазма диффундирует в область эмиссионного канала. Этому способствует дополнительные электроды 3 и 4 (с анодным или промежуточным потенциалом [2]), которые выполняют роль эмиттерного электрода (см. рисунок). Извлечение электронов осуществляется через эмиссионный канал в эмиттерном электроде с анодным (или близким к нему) потенциалом. Присутствие магнитного поля практически во всем объеме разрядной структуры способствует эффективной ионизации газа. В такой электродной структуре исключается стадия инициирования разряда, что отражается на форме вольтамперных характеристик (см. рис.1, в).

На рис. 2 представлены типичные характеристики данного источника. К основному достоинству данного источника можно отнести слабую зависимость эмиссионного тока от давления вплоть до 0,3 Па, (рис.2, в). Эта особенность реализуется как за счёт особой конфигурации электродов разрядной камеры, так и вследствие дополнительной автостабилизации параметров электронного пучка включением сопротивления в цепь эмиттерного электрода относительно анода [2].





д)



е)

а – эмиссионная характеристика: ускоряющее напряжение 18 кВ; напуск газа $1,5 \text{ мПа}\cdot\text{м}^3/\text{с}$; давление, Па: 1, 2 – 0,04; 3 – 0,1; $R_{\text{см}2}$, кОм: 1 – 0; 2, 3 – 1; б – вольтамперная характеристика: напуск газа $1,5 \text{ мПа}\cdot\text{м}^3/\text{с}$; ток разряда 0,2 А; давление газа, Па: 1 – 0,04; 2 – 0,1; в – газовая характеристика: ускоряющее напряжение 16 кВ; напуск газа $1,5 \text{ мПа}\cdot\text{м}^3/\text{с}$; $R_{\text{см}2}$, кОм: 1 – 0; 2 – 0,5; 3 – 1; г- распределение плотности тока и плотности мощности по сечению пучка: ускоряющее напряжение 18 кВ; напуск газа $1,5 \text{ мПа}\cdot\text{м}^3/\text{с}$; ток разряда 0,2 А; ток эмиссии 0,08А; $R_{\text{см}2}$, кОм: 1 – 1; 2 – 0,5; 3 – 0

Рисунок-2. – Основные характеристики плазменного источника электронов (а, б, в, г) и фото пучка в процессе сварки различных материалов (д, е)

На рис.2, г, представлены также распределения плотности тока и плотности мощности электронного пучка по сечению. Анализ распределений показывает, что максимальные значения плотности мощности $q_{\text{max}} \approx 10^9 \text{ Вт}/\text{м}^2$ и эффективный диаметр электронного пучка (который определяется на уровне $0,1 q_{\text{max}}$) соответствует типичным значениям плотности мощности электронных пучков, применяемых для электронно-лучевой сварки [1]. Это, а также вид газовой характеристики свидетельствуют о возможности применения данного источника для сварки, в том числе и материалов с повышенным газоотделением в процессе термообработки [3].

Области применения

Приведенные выше характеристики свидетельствуют о возможности применения представленного плазменного источника для реализации «классических» сварных технологий. При этом традиционные применения электронно-лучевой сварки (ЭЛС) обычно предусматривают получение глубокого «кинжального») проплавления на большую глубину (до сотен миллиметров). Однако существует большое количество вариантов изделий, для которых не обязательно получение «кинжальных» швов, при этом требуется очень высокое их качество. Речь идет об изделиях с высоким качеством и надежностью сварных соединений, а также деталях из высокочистых и высокоактивных металлов. Ниже приведен ряд примеров возможного использования представленного источника электронов.

1. Электронно-лучевой переплав высокоактивных металлов

Одна из традиционных электронно-лучевых технологий - переплав высокоактивных металлов, который необходимо проводить в вакууме. При этом коэффициент использования мощности луча достигает 90 % [2]. При выполнении переплава металлов и сплавов удаляемые из них загрязнения и металлические пары попадают в ЭЛ пушку, в случае использования накаливаемых катодов они достаточно быстро выходят из строя. Практика показала, что металлургические процессы, связанные с интенсивным испарением, целесообразно проводить пушками с плазменным источником электронов.

Из технологических отходов высокоактивных металлов (циркония, титана, ниобия и др.) переплавом можно получать однородные по структуре отливки, которые пригодны для повторного использования, например в качестве катодов-мишеней. В качестве материала для ЭЛ переплава использовали стружку циркония ($T_{\text{пл}}=1855 \text{ }^\circ\text{C}$) и титана ($T_{\text{пл}}=1668 \text{ }^\circ\text{C}$). Отработаны методы изготовления ЭЛ плавкой новых и регенерации изношенных катодов –

мишеней для магнетронных и дуговых систем вакуумного распыления из чистых Ti, Zr, Hf, сплавов Ti и Zr с Cr, Al, В, Мо и др., в т.ч. из лома и стружки. Катоды - мишени используются для получения методом конденсации с ионной бомбардировкой новых высокоэффективных покрытий.

2. Обращение с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ)

Анализ доступных данных по конструкциям стеллажей для мокрого и контейнеров для сухого пристанционного хранения ОЯТ говорит о том, что для этих целей используют длинномерные трубы из нержавеющей стали толщиной 4,5-5,0 мм с высоким содержанием бора. Трубы изготавливают с помощью электронно-лучевой или лазерной сварки [3]. Использование стеллажей с уплотненным шагом расположения труб позволяет разместить и безопасно хранить в бассейнах значительное количество ОЯТ.

3. Создание сверхпроводящих высокочастотных резонаторов

Ведутся работы по созданию сверхпроводящих высокочастотных СВЧ ниобиевых 1,3 ГГц резонаторов методом электронно-лучевой сварки (рис. 3, а). СВЧ резонаторы из особо чистого ниобия для ускорителей заряженных частиц могут изготавливаться только с применением ЭЛС. Процесс ЭЛС обеспечивает сохранение исходной высокой чистоты металла сварного соединения [3], а также требуемую геометрию сварных соединений: полное проплавление с шириной шва e_1 и e_2 не менее 4 мм (рис. 3, б).

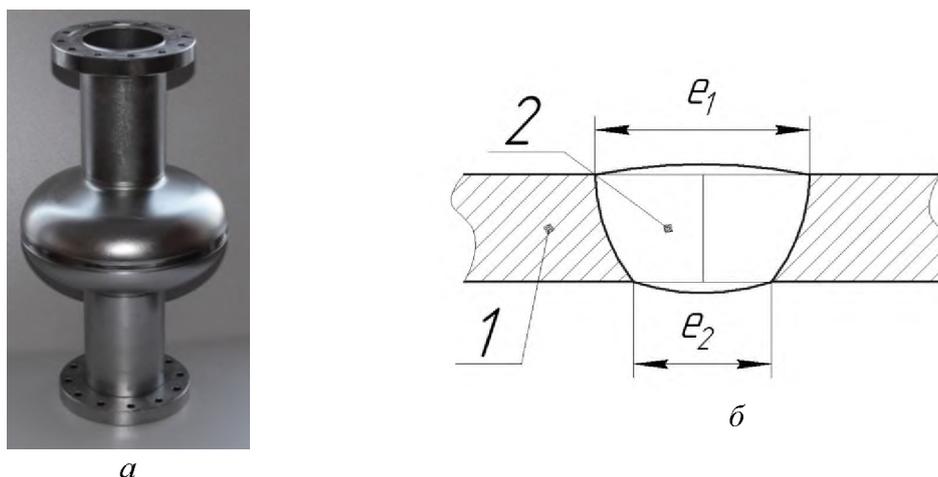


Рисунок-3.- 1,3 ГГц одноячеечный СВЧ ниобиевый резонатор (а) и изучаемая геометрия сварного шва (б); 1 – основной металл; 2 сварной шов

Технология изготовления СВЧ резонаторов, используемая для наиболее масштабных строящихся и проектируемых в настоящее время ускорителей заряженных частиц, включает штамповку полуячеек резонатора, их сварку между собой, а также с другими элементами конструкции [4]. Наиболее ответственной операцией является сварка двух полуячеек по экватору. При получении сварных соединений СВЧ резонаторов высокие требования предъявляются к геометрии сварных швов и химической чистоте металла соединений, которая должна быть не хуже, чем у исходного ниобия. Последнее является залогом сохранения сверхпроводящих свойств особо чистого ниобия и достигается путем травления свариваемых кромок перед сваркой в смеси кислот, соблюдением чистоты при хранении и транспортировании деталей перед сваркой. Получение требуемой геометрии сварных швов при сварке компонентов СВЧ ниобиевых резонаторов является непростой задачей и требует детального изучения взаимосвязей между параметрами режима ЭЛС и характеристиками сварных швов. Однако имеются публикации, свидетельствующие о получении дефектов при сварке экватора полуячеек, в том числе и при серийном изготовлении резонаторов с использованием отработанных режимов сварки [4].

Заключение

Представленный плазменный источник обладает характеристиками, позволяющими реализовать широкий спектр электронно-лучевых технологии, делает его достаточно универсальным технологическим оборудованием.

Список использованных источников

1. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применения / Е.М. Окс – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 216 с.
2. Источники электронов с плазменным эмиттером / Ю.Е. Крейнделъ [и др.]; под общ. ред. Ю.Е. Крейнделя. – Новосибирск: Наука, 1983. – 120 с.
3. Плазменный эмиттер электронов с сеточной стабилизацией. Ч. I / А.В. Жаринов [и др.] // ЖТФ. – 1986. – Т. 56, вып. 1. – С. 66 – 70.
4. Разработка и применение источников интенсивных электронных пучков: сб. науч. тр. / науч. ред. Г.А. Месяц. – Новосибирск: Наука, 1976. – 191 с.

УДК 517.957, 517.958

НЕЛИНЕЙНЫЕ ВОЛНЫ ОБОБЩЕННОГО УРАВНЕНИЯ КОРТЕВЕГА-ДЕ ФРИЗА МЕТОДОМ ДАРБУ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Сергазина Альмира Мухамедсабыровна

Магистрант физико-технического факультета ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан

Научный руководитель – К.Р. Есмаханова

Для исследования уравнения Кортевега-де Фриза использовался метод Дарбу преобразования.

Целью исследования являлось получение уравнение Кортевега-де Фриза методом Дарбу преобразования.

1. Уединенная волна. Шотландский ученый Джон Скотт Расселл в 1834 году наблюдал за любопытной волной на воде. Расселл неоднократно проводил свои наблюдения, поскольку был уверен в том, что найденная им уединенная волна в скором времени сыграет огромную роль. Установив некоторые свойства этой волны, он заметил, что уединенная волна движется с постоянной скоростью и без изменения своей формы. А также им была найдена зависимость скорости света с уединенной волны от h -глубины канала и g -ускорения свободного падения:

$$c = \sqrt{g + (a + h)}.$$

Далее он обнаружил главную особенность уединенных волн. Особенность заключалась в том, что найденные им уединенные волны, пересекаясь между собой, проходят друг через друга без изменений. “Доклад о волнах”- вызвала бунт среди ученых науки (1844г.). После столь негативного отношения к открытию любопытной волны о ней совсем забыли. Лишь Бусснеск (1872г.) и Дж. У. Рэлей (1876г.) вывели аналитическую формулу, подтвердив важность уединенной волны [1].

2. Линейные и нелинейные волны. При описании распространения волн в различных средах используют уравнения в частных производных. Простое волновое уравнение имеет вид:

$$u_{tt} = c^2 u_{xx}. \quad (1)$$