

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ I^{125} НА СЕРЕБРЯНЫЕ ПОДЛОЖКИ ДЛЯ МИКРОИСТОЧНИКОВ

Д.А. Подсобляев, Н.А. Нерозин, В.В. Шаповалов, Ю.А. Яковщиц, А.С. Болонкин, А.В. Дунин, А.А. Говердовский
АО «ГНЦ РФ – ФЭИ им. А.И. Лейпунского», Обнинск, Россия

Резюме

Разработан и апробирован метод осаждения I^{125} на серебряные подложки путем электрохимического нанесения из щелочной среды. Показано, что прямое нанесение I^{125} невозможно и происходит только после обработки подложек реагентами, обладающими восстановительными и комплексообразующими свойствами. По результатам серии экспериментов в качестве активирующего агента выбран гидразингидрат. Разработанная методика включает предварительную активацию поверхности серебряных подложек обработкой 0,01 мМ раствором гидразингидрата, а затем осаждение I^{125} из раствора NaI^{125} в 0,05 М растворе щелочи с объемной активностью I^{125} 50 мКи/мл (потенциал нанесения 950 мВ). Активность образцов, полученных согласно предложенной методике при времени нанесения 30 или 60 мин, составила $1,12 \pm 0,12$ мКи и $1,43 \pm 0,14$ мКи, соответственно. Таким образом, предложенный метод является эффективным способом осаждения I^{125} на серебряные подложки, дает воспроизводимые результаты и может быть использован при организации производства микроисточников.

Ключевые слова: радионуклиды, микроисточники, серебряные подложки, осаждение I^{125} .

Для цитирования: Подсобляев Д.А., Нерозин Н.А., Шаповалов В.В., Яковщиц Ю.А., Болонкин А.С., Дунин А.В., Говердовский А.А. Электрохимическое осаждение I^{125} на серебряные подложки для микроисточников // *Biomedical Photonics*. – 2015. – Т. 4, № 4. – С. 17–20.

Контакты: Нерозин Н.А., e-mail: nerozin@ippe.ru

ELECTROCHEMICAL PLATING OF I^{125} ON SILVER MATRIX FOR MICROSOURCES

Podsoblyayev D.A., Nerozin N.A., Shapovalov V.V., Yakovschits Yu.A., Bolonkin A.S., Dunin A.V., A.A. Goverdovskiy

State Science Center of the Russian Federation – A.I. Leypunsky Institute of Physics and Power Engineering», Obninsk, Russia

Abstract

A technique for plating of I^{125} on silver matrices by electrochemical plating at alkaline pH was developed and approved. The direct covering of I^{125} showed to be impossible and to take place only after pre-treatment of matrices by reagents with reductive and chelating properties. According to results of set of experiments the hydrazine hydrate was chosen as activating agent. The developed method includes preparatory activation of surface of silver matrices by processing with 0,01 mM hydrazine solution and then plating of I^{125} from NaI^{125} solution in 0,05 M alkaline solution with I^{125} volumetric activity of 50 mCi/ml (plating voltage of 950 mV). Radioactivity of samples made by developed method with time of coating for 30 or 60 min accounted for $1,12 \pm 0,12$ mCi and 1.43 ± 0.14 mCi, respectively. Thus, the developed method is efficient technique for plating of I^{125} on silver matrices, has replicable results and may be used for manufacturing of microsourses.

Keywords: radionuclide, microsource, silver matrix, plating of I^{125} .

For citations: Podsoblyayev D.A., Nerozin N.A., Shapovalov V.V., Yakovschits Yu.A., Bolonkin A.S., Dunin A.V., Goverdovskiy A.A. Electrochemical plating of I^{125} on silver matrix for microsourses, *Biomedical Photonics*, 2015, T. 4, No. 4, pp. 17–20 (in Russian).

Contacts: Nerozin N.A., e-mail: nerozin@ippe.ru

Введение

Рак предстательной железы (РПЖ) в последние годы во многих странах является одним из наиболее часто встречающихся злокачественных новообразований у мужчин. В последние годы отмечается исключительно быстрый рост заболеваемости РПЖ, достигающий 3% в год, что позволяет прогно-

зировать удвоение числа регистрируемых случаев к 2030 г. [1].

Одним из методов радикального лечения локализованного РПЖ является внутритканевая лучевая терапия (брахитерапия). Методика брахитерапии основана на имплантации закрытых источников,

содержащих радионуклид I^{125} или Pd^{103} , остающихся в ткани железа на протяжении всего периода жизни [2, 3]. В США ежегодно выполняется более 50 тыс. таких операций. В России в 2011 г. проведено 1050 имплантаций, а в 2012 г. – 2200 [4]. I^{125} и Pd^{103} распадаются по механизму К-захвата. Распад I^{125} и Pd^{103} сопровождается низкоэнергетическим излучением (28 кэВ и 21 кэВ, соответственно [5]), что позволяет доставлять необходимую энергию в локализованные области и уменьшить повреждение здоровых тканей [6].

Одна из возможных конструкций микроисточников на основе I^{125} представляет собой серебряные вкладыши цилиндрической формы с нанесенным на них I^{125} , которые помещаются в титановую оболочку.

В ГНЦ РФ-ФЭИ проводятся работы по созданию участка по их производству [7].

Материал и методы

Для разработки процесса нанесения I^{125} на серебряные подложки был выбран вариант электрохимического нанесения из щелочной среды. Выбор в пользу электрохимического метода был сделан потому, что такой процесс достаточно просто поддается регулированию.

Нанесение I^{125} проводили на электрохимической установке непосредственно на подложки тех размеров, которые используются для изготовления микроисточников для брахитерапии. Нанесение йода осуществлялось из щелочной среды, что позволяет избежать выбросов йода, а также дает возможность использовать в процессе растворы I^{125} , полученные от производителей (NaI^{125} в 0,05М растворе гидроксида натрия) без дополнительной подготовки.

Для осаждения йода на серебряные подложки была создана установка, представленная на рис.

Установка представляет собой ванну (1) из нержавеющей стали, корпус которой является анодом. Катод (3) (проволока из платины) закрепляется на штанге (9) с держателем катода (2). Ванна, закрепленная в держателе (7), вращается с помощью электродвигателя (8). Нижний конец катода опускается в рабочий раствор, который представляет собой щелочной раствор NaI^{125} . На дно ванны помещаются подложки из серебряной проволоки в количестве 40÷600 штук.

На первой стадии эксперимента было проведено прямое нанесение I^{125} из слабого щелочного раствора на серебряные подложки в диапазоне потенциала 300÷1400 мВ и объемной активности I^{125} 100÷1000 мКи/мл. Оказалось, что прямое нанесение I^{125} невозможно.

Далее были проверены следующие методики предварительной подготовки поверхности серебряных подложек для их активации путём обработки реа-

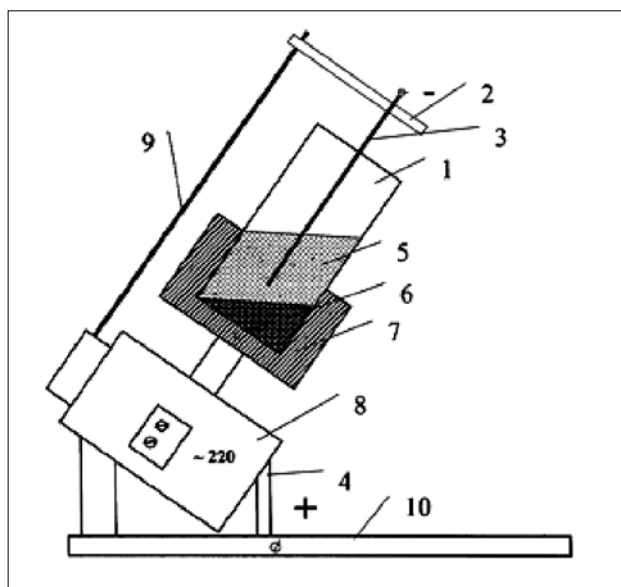


Рис. Кинематическая схема аппарата с ванной для электрохимического нанесения I^{125} на серебряные подложки: 1 – корпус; 2 – держатель катода; 3 – катод; 4 – опора; 5 – рабочий раствор; 6 – серебряные подложки; 8 – электродвигатель; 9 – штанга; 10 – основание

гентами с восстановительными и комплексообразующими свойствами:

- предварительная анодная поляризация в присутствии тиомочевины в концентрации 0,01 мМ;
- предварительная анодная поляризация в присутствии тиосульфата натрия в концентрации 0,01 мМ;
- предварительная анодная поляризация в присутствии гидразингидрата в концентрации 0,01 мМ.

Результаты

Результаты экспериментов по проверке эффективности разных методик предварительной подготовки поверхности серебряных подложек приведены в табл. 1.

В экспериментах использовались серебряные подложки одинакового размера: диаметр 0,5 мм, длина 3 мм. Нанесение йода осуществлялось из 15 мл раствора с объемной активностью I^{125} 145 мКи/мл.

Как видно из полученных результатов, наибольший эффект достигнут при обработке подложек тиомочевинной и гидразингидратом. Наиболее предпочтительным активизирующим реагентом является гидразингидрат, так как он при разложении не дает побочных продуктов в растворе (только H_2 и N_2 [8]).

Далее с целью оценки возможного разброса нанесенной активности были проведены эксперименты по нанесению I^{125} на серебряные подложки при следующих условиях: потенциал нанесения – 950 мВ, объемная активность I^{125} 50 мКи/мл, объем раствора 15 мл. Потенциал нанесения и объемная активность были уменьшены, так как в реальных условиях про-

Таблица 1.

Зависимость количества нанесенного на одну подложку I¹²⁵ от природы обрабатывающего реагента и времени предварительной обработки

№ п/п	Обрабатывающий агент	Потенциал нанесения, мВ	Время нанесения, мин	Количество нанесенного I ¹²⁵ , мКи
1	Тиомочевина	1200	5	1,33
2	Тиомочевина	1200	10	4,11
3	Тиомочевина	1200	20	6,37
4	Тиосульфат	1300	5	0,38
5	Тиосульфат	1300	10	0,34
6	Тиосульфат	1300	20	2,80
7	Гидразингидрат	1200	5	1,64
8	Гидразингидрат	1200	10	3,37
9	Гидразингидрат	1200	20	6,90

изводства микроисточников на подложку требуется наносить 0,8÷1,5 мКи за период времени, который поддается надёжному контролю. Время обработки гидразином составляло 10 мин.

Результаты экспериментов приведены в табл. 2 и 3.

Как видно из табл. 2 и 3, активность практически всех подложек (кроме одной) попала в диапазоны 1,12±0,12 мКи и 1,43±0,14 мКи. Из полученных результатов следует, что возможно нанесение необ-

ходимого количества I¹²⁵ на серебряные подложки микроисточников с хорошей статистикой по разбросу нанесённой активности.

Заключение

Предложенный метод нанесения I¹²⁵ на серебряные подложки дает хорошие результаты по статистике нанесения и может быть использован при организации производства микроисточников.

Таблица 2.

Активность I¹²⁵, нанесенного на подложку. Партия 67 штук. Время нанесения 30 мин

№ п/п	А, мКи	№ п/п	А, мКи	№ п/п	А, мКи	№ п/п	А, мКи	№ п/п	А, мКи
1	0,50	15	1,04	29	1,06	43	1,11	57	1,16
2	1,00	16	1,04	30	1,07	44	1,11	58	1,17
3	1,00	17	1,04	31	1,08	45	1,12	59	1,18
4	1,01	18	1,04	32	1,08	46	1,12	60	1,18
5	1,01	19	1,05	33	1,08	47	1,13	61	1,19
6	1,01	20	1,05	34	1,08	48	1,14	62	1,20
7	1,02	21	1,05	35	1,08	49	1,14	63	1,21
8	1,02	22	1,05	36	1,08	50	1,15	64	1,22
9	1,02	23	1,05	37	1,09	51	1,15	65	1,22
10	1,02	24	1,06	38	1,09	52	1,15	66	1,23
11	1,03	25	1,06	39	1,09	53	1,15	67	1,25
12	1,03	26	1,06	40	1,10	54	1,16		
13	1,03	27	1,06	41	1,10	55	1,16		
14	1,03	28	1,06	42	1,11	56	1,16		

Таблица 3.

Активность I¹²⁵, нанесенного на подложку. Партия 47 штук. Время нанесения 60 мин

№ п/п	А, мКи	№ п/п	А, мКи	№ п/п	А, мКи	№ п/п	А, мКи
1	1,29	15	1,35	29	1,44	43	1,54
2	1,29	16	1,36	30	1,45	44	1,55
3	1,29	17	1,39	31	1,46	45	1,56
4	1,29	18	1,39	32	1,46	46	1,56
5	1,30	19	1,39	33	1,46	47	1,57
6	1,30	20	1,40	34	1,48		
7	1,31	21	1,40	35	1,48		
8	1,31	22	1,41	36	1,49		
9	1,32	23	1,41	37	1,50		
10	1,33	24	1,41	38	1,51		
11	1,33	25	1,42	39	1,53		
12	1,34	26	1,42	40	1,54		
13	1,34	27	1,43	41	1,54		
14	1,35	28	1,43	42	1,54		

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов М.А., Ксенофонтов А.И., Наркевич Б.Я. Брахитерапия рака предстательной железы с использованием закрытых гранульных радионуклидных источников // Мед. физика. – 2009. – №4. – С. 91–104.
2. Koutrovelis P. Three-dimensional stereotactic posterior ischiorectal space computerized tomography guided brachytherapy of prostate cancer: a preliminary report // J. Urol. – 1998. – Vol. 159 (1). – P. 142–145.
3. Koutrovelis P., Zailas N., Goldson A. et al. // J. Brachyther. Int. – 1999. – Vol. 15. – P. 65–72.
4. Бирюков В.А. Низкодозная брахитерапия при раке предстательной железы: различные показания – различные результаты // Онкоурология. – 2013. – Т.9, №4. – С. 47–51.
5. Селинов И.П. Изотопы. Т.1. – М.: Наука, 1970. – 623 с.
6. Бабахейдари А.Э., Шамсае М., Ахмади П. Определение дозиметрических характеристик источника новой конструкции для брахитерапии на основе 125I методом Монте-Карло с помощью программы MCNPX // Радиохимия. – 2014. – Т.56, №3. – С. 252–256.
7. Пат. 2364665 РФ. Устройство для нанесения изотопа йода на серебряный поверхностный слой изделий / Ермолов Н.А., Нерозин Н.А., Подсобляев Д.А. и др. // Бюл. – 2009. – № 23.
8. Одрит Л., Огг Б. Химия гидразина. – М.: Изд. иностр. лит., 1954. – 238 с.

REFERENCES

1. Kuznetsov M.A., Ksenofontov A.I., Narkevich B.Ya. Brachytherapy of prostate cancer using closed granular radionuclide sources, *Med fizika*, 2009, No. 4, p. 91–104.
2. Koutrovelis P. Three-dimensional stereotactic posterior ischiorectal space computerized tomography guided brachytherapy of prostate cancer: a preliminary report, *J Urol*, 1998, Vol. 159 (1), p. 142–145.
3. Koutrovelis P., Zailas N., Goldson A. et al., *J Brachyther Int*, 1999, Vol. 15, p. 65–72.
4. Biryukov V.A. Nizkodoznaya brakhiterapiya pri rake predstatel'noi zhelezy: razlichnye pokazaniya – razlichnye rezultaty (Low-dose brachytherapy for prostate cancer: different indications – different results), *Onkourologiya*, 2013, T. 9, No. 4, p. 47–51.
5. Selinov I.P. Izotopy, T. I., M.: Nauka, 1970, p. 1–623.
6. Babakheidari A.E., Shamsae M., Akhmadi P. Opredelenie dozimetricheskikh kharakteristik istochnika novoi konstruktsii dlya brakhiterapii na osnove 125I metodom Monte-Karlo s pomoshch'yu programmy MCNPX (Evaluation of the dosimetric characteristics of source for brachytherapy based on 125I by Monte Carlo calculation using MCNPX software), *Radiokhimiya*, 2014, T. 56, No. 3, p. 252–256.
7. Pat. 2364665 RF. Ustroistvo dlya naneseniya izotopa ioda na serebryanyi poverkhnostnyi sloi izdelii (Device for plating of iodine isotope on silver surface of the product), Ermolov N.A., Nerozin N.A., Podsoblyayev D.A. i dr., *Byul.*, 2009, No. 23.
8. Odril L., Ogg B. Khimiya gidrazina (Chemistry of hydrazine), M.: Izd. inostr. lit., 1954, p. 1–238.