

НАСТОЯЩИЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ УРАНА**Т.Н. Махмудов**

mahmudov.timur701@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Выполнен обзор наиболее быстро развивающихся и перспективных отраслей, в которых могут применяться уран и его соединения. Вся информация получена из наиболее популярных источников и скомпонована таким образом, чтобы быть доступной. Целью работы является сбор актуальных сведений о новых перспективных разработках по применению урана. Данная статья будет полезна как исследователям, чья работа непосредственно связана с ураном, так и всем тем, кто желает расширить свой кругозор. Результаты работы позволяют сделать выводы о перспективности применения урана и его соединений как в настоящее время, так и в ближайшем будущем.

Ключевые слова

Уран, полупроводник, применение урана, лучевая терапия, геология, военная промышленность, аэрогель, микроэлектромеханическая система

Поступила в редакцию 26.10.2022

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022

Введение. Уран U представляет собой металл, химический элемент Периодической системы элементов Д.И. Менделеева с порядковым номером 92. Его диоксид UO_2 был извлечен из настурана немецким химиком Мартином Генрихом Клапротом в 1789 г., а в 1840 г. французским химиком Эженем Пелиго было получено простое вещество. Еще в 1874 г. Д.И. Менделеев предположил, что атомная масса урана должна составлять порядка 240 а. е. м., хотя до этого считали, что она равна примерно 120 а. е. м. Этот элемент принадлежит к семейству актиноидов, и его атомная масса на самом деле составляет 238,029 а. е. м. Он представляет собой серебристо-белый глянцевитый металл; в чистом виде ковкий, гибкий, немного мягче стали, обладает небольшими парамагнитными свойствами, является слабо радиоактивным.

В природе в свободном (индивидуальном) виде уран не встречается; входит в состав таких урановых руд, как настуран, уранинит, карнотит и др. Основные области его применения в настоящее время — ядерная энергетика (в качестве топлива для атомных реакторов), производство искусственных изотопов и др. Перспективными областями применения урана могут быть полупроводниковая промышленность, геология, медицина, военная промышленность и материаловедение. Это подтверждает существенный рост числа публикаций, посвященных этому элементу (рис. 1).

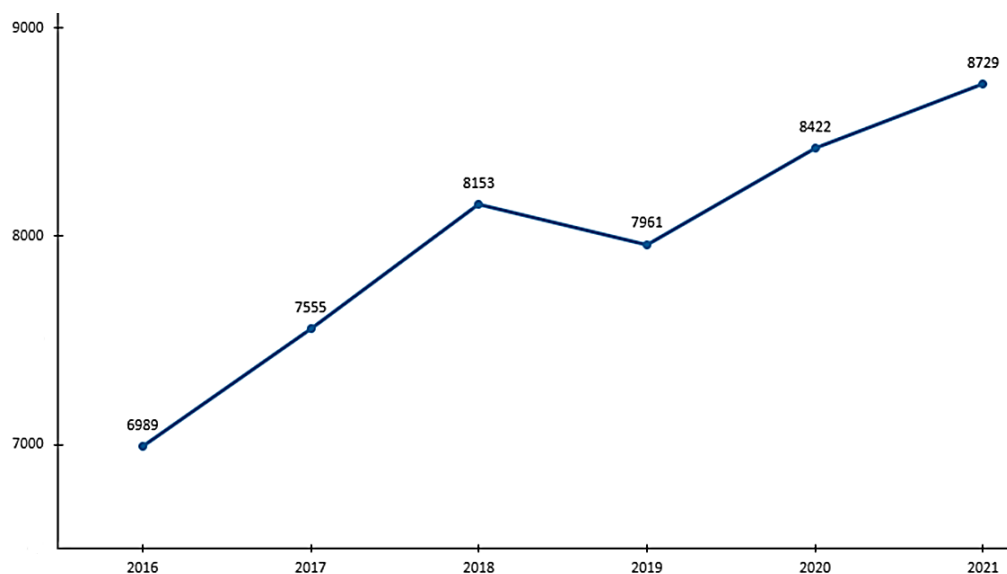


Рис. 1. Число издаваемых в год материалов, содержащих слово “Uranium” (по данным базы Scopus, 2016–2021 гг.)

Полупроводниковая промышленность. Соединения урана применяются при травлении в штабеле под узорчатой маской в травильной камере [1]. В этом методе используется травильный газ. Одним из его компонентов является протравочная составляющая. Она представляет собой фторид урана (V) UF_5 . При проведении процесса требуется охлаждение штабеля жидкостью с температурой ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такое травление может применяться при изготовлении полупроводниковых приборов. Слои травления при этом могут быть протравлены для получения отверстий, линий или других полупроводниковых элементов. Некоторые полупроводниковые устройства могут быть сформированы путем травления одного стека диоксида кремния SiO_2 , например, для формирования конденсатора в динамической памяти случайного доступа (DRAM). Другие полупроводниковые приборы могут быть образованы путем травления стопок бислойников из чередующихся стеков диоксида кремния (оксид) и нитрида кремния или чередующихся стеков диоксида кремния и поликристаллического кремния. Такие стеки могут использоваться в трехмерных затворах «не-и» (3D NAND).

Уран также используется в производстве микроэлектромеханических систем (МЭМС), в частности для изготовления инфракрасных (ИК) датчиков. В этом случае он является составной частью геттера [2]. Геттерный слой облегчает поддержание целостности вакуума в полости, повышая тем самым надежность устройства. При этом данный слой устроен таким образом, что позволяет ИК-излучению проникать через крышку к ИК-датчику. Например, геттер может быть узорчатым, что-

бы покрыть только нижнюю часть колпачка [3] на периферии области устройства МЭМС, не блокируя распространение ИК-излучения до ИК-датчика. Уран можно применять и в качестве компонента интерметаллического соединения подложки интегральной схемы для ее фрагментации.

Геология. Эволюцию и возраст почв можно определить с помощью таких изотопов урана, как U-238 и U-234 [4]. При этом данные, полученные с применением этих материалов, важны для определения активного в настоящее время процесса в профилях почвы, которые контролируют химические потоки, переносимые реками с континента (профиль почвы — это вертикальный поперечный срез почвы, который можно увидеть, выкопав прямоугольную яму или взяв пробу почвы послойно). Указанные выше два природных изотопа урана являются прекурсорами радиоактивных распадов природных серий с массовым числом $4n + 2$ и $4n + 3$ соответственно. Третий изотоп природного урана, U-234, является радиогенным и образуется в цепи распада U-238. Свойство нуклидов фракционироваться во время взаимодействий воды с породой (почвой) и иметь радиоактивные периоды того же порядка величины, что и постоянные времени многих процессов выветривания, позволяет использовать нуклиды серии урана в качестве индикаторов и хронометров процессов выветривания [5].

Медицина. С помощью урана проводят лучевую терапию, которая помогает в борьбе с онкологическими заболеваниями, например, с меланомой [6, 7]. В ее основе лежит воздействие на клетки опухоли различных видов ионизирующего излучения: α -излучение представляет собой поток ядер атома гелия, β -излучение — поток электронов или позитронов, γ -излучение — поток фотонов (рис. 2). Это излучение передает энергию, которая уничтожает или повреждает указанные клетки в нужной области. В последнем случае повреждение генетического материала клеток опухоли делает невозможными их дальнейший рост

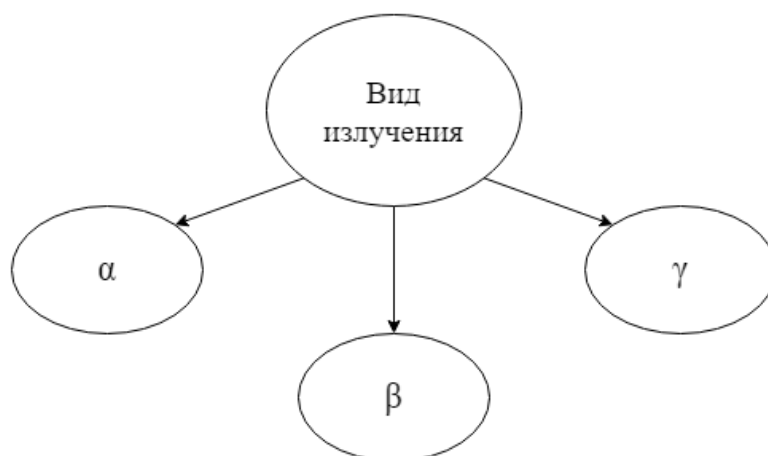


Рис. 2. Виды ионизирующего излучения урана

и деление. В одном из видов лучевой терапии используются фотоны, например, рентгеновские лучи. В зависимости от количества энергии фотоны могут применяться для уничтожения раковых клеток на поверхности тела или внутри его объема. Чем выше энергия рентгеновского пучка, тем глубже лучи проникают. Гамма-лучи — это еще одна форма фотонов, используемых в лучевой терапии. Они образуются спонтанно, когда такие элементы, как радий или уран, выделяют излучение при распаде или разложении.

Перспективным применением соединений урана в медицине могут оказаться лечение и профилактика синдрома последствий интенсивной терапии и повреждения тканей скелетных мышц в результате травмы или заболевания. Для этих целей можно использовать триодид (UI_3), тетраидид (UI_4), пентаидид (UI_5) урана [8].

Военная промышленность. Для производства снарядов и боеприпасов, предназначенных для танков и крупнокалиберного огнестрельного оружия, используют обедненный уран [9]. Указанный материал обладает достаточно высокой плотностью, поэтому сердечник, изготовленный из него, имеет меньший диаметр по сравнению с сердечником эквивалентной массы, произведенным из другого металла (рис. 3). В результате улучшаются аэродинамические характеристики и пробивная способность снарядов.



Рис. 3. Сердечник снаряда калибра 30 мм из обедненного урана

Материаловедение. Соединения урана можно применять в производстве 3D-аэрогеля. Основой этого материала является борид урана UB_2 [10]. Аэрогель — это композит, который представляет собой гель, но жидкая фаза в нем замещается газообразной. Он имеет очень маленькую плотность. В то же время этот материал обладает рядом уникальных свойств, а именно: высокой жаропрочностью, очень низкой теплопроводностью, большой твердостью. Промышленные компании применяют аэрогели для производства теплоизоляционных материалов. Аэрогель использовали для создания ловушек космической пыли, которые были предназначены для проекта «Стардаст». Производство суперконденсаторов также не обходится без аэрогелей.

Заключение. По приведенным в открытых источниках данным можно утверждать, что уран имеет отличную перспективу применения: а) в полупро-

водниковой промышленности; б) в медицине при лечении онкологических заболеваний; в) в геологии для определения возраста минералов и горных пород; г) в военной промышленности для изготовления боеприпасов; д) в материаловедении.

Литература

- [1] Kanarik K.J., Tan S.S., Pan Y. et al. Plasma etching chemistries of high aspect ratio features in dielectrics. Patent US 20210005472A1. Appl. 12.03.2019, publ. 07.01.2021.
- [2] Chen T.J., Tseng L.C. High efficiency getter design in vacuum mems device. Patent US 20200102215A1. Appl. 25.11.2019, publ. 29.12.2020.
- [3] Ang W.C., Kropelnicki P., Ocak I.E. et al. CMOS cap for MEMS devices. Patent US EP3875424A1. Appl. 15.12.2020, publ. 08.09.2021.
- [4] Rosolena V., Buenob G.T., Bonotto D.M. The application of U-isotopes to assess weathering in contrasted soil-water regime in Brazil. *Appl. Radiat. Isot.*, 2018, vol. 132, pp. 157–163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.11.034>
- [5] Ma L., Dosseto A., Gaillardet J. et al. Quantifying weathering rind formation rates using in situ measurements of U-series isotopes with laser ablation and inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2019, vol. 247, pp. 1–26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.12.020>
- [6] Tartare-Deckert S., Deckert M., Berestjuk I. Compositions for treating melanoma. Patent US 20210244737A1. Appl. 19.06.2019, publ. 12.08.2021.
- [7] Keler T., Yellin M., Guha C. et al. Methods of treating cancer with dendritic cell mobilizing agents. Patent US 20210077832A1. Appl. 25.01.2019, publ. 18.03.2021.
- [8] Hill S.A., Roth M.B., Langston J.W. et al. Use of halogen compounds for the treatment and prevention of tissue injury and post-intensive care syndrome. Patent US 20210252047A1. Appl. 07.06.2019, publ. 19.08.2021.
- [9] Barrett R.M., Schumacher L.N. Maneuvering aeromechanically stable sabot system. Patent US 20220252382A1. Appl. 24.04.2020, publ. 11.08.2022.
- [10] Worsley A.M., Baumann T.F., Kuntz J. Metal boride aerogels. Patent US 20200197892A1. Appl. 05.03.2020, publ. 25.06.2020.

Махмудов Тимур Назимович — студент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Гуров Александр Алексеевич, кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Махмудов Т.Н. Настоящие и перспективные применения урана. *Политехнический молодежный журнал*, 2022, № 11(76). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-11-835>

CURRENT AND FUTURE APPLICATIONS OF URANIUM

T.N. Makhmudov

makhmudov.timur701@gmail.com

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The most rapidly developing and promising industries in which uranium and its compounds can be used are reviewed. All information is obtained from the most popular sources and compiled in such a way as to be accessible. The purpose of this paper is to gather up-to-date information on promising new developments in the application of uranium. This article will be useful to researchers whose work is directly related to uranium, as well as to all those who wish to expand their horizons. The results of the paper allow us to make conclusions about the potential application of uranium and its compounds both at present and in the near future.

Keywords

Uranium, semiconductor, uranium applications, radiation therapy, geology, military industry, aerogel, microelectromechanical system

Received 26.10.2022

© Bauman Moscow State Technical University, 2022

References

- [1] Kanarik K.J., Tan S.S., Pan Y. et al. Plasma etching chemistries of high aspect ratio features in dielectrics. Patent US 20210005472A1. Appl. 12.03.2019, publ. 07.01.2021.
- [2] Chen T.J., Tseng L.C. High efficiency getter design in vacuum mems device. Patent US 20200102215A1. Appl. 25.11.2019, publ. 29.12.2020.
- [3] Ang W.C., Kropelnicki P., Ocak I.E. et al. CMOS cap for MEMS devices. Patent US EP3875424A1. Appl. 15.12.2020, publ. 08.09.2021.
- [4] Rosolena V., Buenob G.T., Bonotto D.M. The application of U-isotopes to assess weathering in contrasted soil-water regime in Brazil. *Appl. Radiat. Isot.*, 2018, vol. 132, pp. 157–163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2017.11.034>
- [5] Ma L., Dosseto A., Gaillardet J. et al. Quantifying weathering rind formation rates using in situ measurements of U-series isotopes with laser ablation and inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2019, vol. 247, pp. 1–26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.12.020>
- [6] Tartare-Deckert S., Deckert M., Berestjuk I. Compositions for treating melanoma. Patent US 20210244737A1. Appl. 19.06.2019, publ. 12.08.2021.
- [7] Keler T., Yellin M., Guha C. et al. Methods of treating cancer with dendritic cell mobilizing agents. Patent US 20210077832A1. Appl. 25.01.2019, publ. 18.03.2021.
- [8] Hill S.A., Roth M.B., Langston J.W. et al. Use of halogen compounds for the treatment and prevention of tissue injury and post-intensive care syndrome. Patent US 20210252047A1. Appl. 07.06.2019, publ. 19.08.2021.
- [9] Barrett R.M., Schumacher L.N. Maneuvering aeromechanically stable sabot system. Patent US 20220252382A1. Appl. 24.04.2020, publ. 11.08.2022.
- [10] Worsley A.M., Baumann T.F., Kuntz J. Metal boride aerogels. Patent US 20200197892A1. Appl. 05.03.2020, publ. 25.06.2020.

Makhmudov T.N. — Student, Department of Design and Production Technology of Electronic Devices, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — A.A. Gurov, Cand. Sc. (Chem.), Assoc. Professor, Department of Chemistry, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Makhmudov T.N. Current and future applications of uranium. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2022, no. 11(76).
<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-11-835.html> (in Russ.).