

УДК 621.793

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СИНТЕЗИРОВАНИЯ ОКСИДА ВАНАДИЯ

© Долгушин Я.В.

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва, Российская Федерация*

e-mail: d.yroslav@mail.ru

*Научный руководитель: Крит Б.Л., д-р техн. наук, доцент
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва, Российская Федерация*

Ключевые слова: ванадий, оксид, плазма, электролит, оксидирование.

Ванадий представляет собой металл серебристо-серого оттенка, который при воздействии окружающей среды покрывается пленкой из оксидов ванадия. Различные оттенки этой пленки обусловлены разной толщиной оксидного слоя [1].

Ванадий образует многочисленные соединения с кислородом, из которых наиболее важными являются оксиды: монооксид ванадия VO (или V_2O_2), полупрозрачный оксид V_2O_3 , диоксид ванадия VO_2 (или диоксид диванадия V_2O_4) и пятиокись V_2O_5 [2]. Количество публикаций, которые посвящены различным оксидам ванадия, стремительно растёт. Это обусловлено возможностями практического применения этих материалов.

Целью данной работы является изучение особенностей оксида ванадия, препятствующие направленному синтезу определённого оксида ванадия и делающие его перспективным материалом для использования в различных устройствах, а также предложена технология плазменно-электролитной обработки (ПЭО) для синтеза оксида ванадия.

Основная проблема, которая препятствует синтезу определённого оксида ванадия, заключается в высокой чувствительности системы V-O к содержанию кислорода. Это обусловлено тем, что ванадий имеет степени окисления +2, +3, +4, +5, и образует ряд фаз, в которых ванадий присутствует одновременно в различных степенях окисления [3].

Большинство имеющихся оксидов ванадия демонстрируют фазовый переход полупроводник-металл (ППМ). При данном переходе происходит резкое, но обратимое изменение сопротивления материала. Температуры, при которых происходит этот переход, лежат в диапазоне от -150 до 400 °C, а амплитуды этого перехода варьируются от 10 до 10^{10} раз. Этот фазовый переход обратим и сопровождается изменением кристаллографических, магнитных, оптических и электрических свойств [4].

В таблице представлены параметры решетки, а также основные характеристики VO_2 для разных фаз [5].

В настоящее время разработано значительно количество вариантов применения тонких плёнок диоксида ванадия VO_2 : датчики, актюаторы, мемристоры и переключатели. Основная проблема при создании устройств на основе диоксида ванадия VO_2 – сложность синтеза плёнки с заданными параметрами фазового перехода ППМ.

Оксиды ванадия (в частности VO_2) применяются в качестве катодного материала в перезаряжаемых магниевых батареях и перезаряжаемых цинк-ионных батареях [6]. Перезаряжаемые магниевые аккумуляторы являются одним из наиболее перспективных устройств хранения энергии нового поколения. В последние годы перезаряжаемые цинк-ионные батареи выделяются среди многочисленных металл-ионных батарей. Благодаря своим

преимуществам (низкой стоимости, экологичности и безопасности) перезаряжаемые цинк-ионные батареи можно рассматривать как альтернативу литий-ионным батареям.

Таблица – Характеристики VO₂ при разных фазах ППМ

Характеристики	Полупроводниковая фаза	Металлическая фаза
Температура	Ниже 340К	Выше 340К
Тип решетки	Моноклинная	Тетрагональная
Расстояние V-V вдоль оси c	0,265 нм и 0,312 нм	0,288 нм
Коэффициент линейного расширения	$6,4 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$17,1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Подвижность электронов	$\sim 0,5 \text{ см}/(\text{Вс})$	$1-10 \text{ см}/(\text{Вс})$
Эффективная концентрация носителей	$\sim 10^{23} \text{ см}^{-3}$	$10^{18} - 10^{19} \text{ см}^{-3}$
Показатель преломления	2,5	2,0

Нанесение тонких пленок представляет собой важный процесс в современной науке и технике, который используется для создания слоев материала с небольшой толщиной на поверхности подложки. Нанесение тонких пленок играет ключевую роль в создании и улучшении различных устройств и систем.

Существует несколько различных технологий и методов нанесения тонкопленочных покрытий, а также целый ряд инструментов и оборудования, которые можно использовать для оптимизации или улучшения процесса осаждения тонких пленок. Среди методов нанесения покрытий всё большую популярность набирают технологии плазменно-электролитной обработки. Применение технологии ПЭО на поверхностях деталей позволяет формировать многофункциональные покрытия, улучшающие их коррозионную стойкость, износостойкость и другие характеристики [7].

Плазменно-электролитная обработка в основном сосредоточена на алюминиевых и магниевых сплавах, для которых она хорошо работает. Однако данный метод можно применять и к другим металлам (в частности, было много работ с титаном и его сплавами). Но существуют и другие металлы, (известные как вентильные металлы), для которых возможна ПЭО-обработка. Все вентильные металлы имеют высокостабильные оксиды. Однако, это не единственная важная характеристика, и в литературе мало ясности относительно конкретного набора свойств, которые делают металл более или менее подходящим для ПЭО-обработки.

Таким образом, изучение свойств оксида ванадия и возможностей метода плазменно-электролитной обработки показывает необходимость разработки новых, эффективных технологических процессов формирования тонких плёнок оксида ванадия методом ПЭО.

Библиографический список

1. Борисенко, Л.Ф. Ванадий (минералогия, геохимия и типы эндогенных меторождений) / Л.Ф. Борисенко – М.: Недра, 1973. – 192 с.
2. Амелина, Г.Н. Частные реакции ванадия / Г.Н. Амелина – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 22 с.
3. Bahlawane, N. Vanadium oxide compounds: Structure, properties, and growth from the gas phase / N. Bahlawane, D. Lenoble // Chem. Vap. Depos. – 2014. – Vol. 20, № 7–9. – P. 299–311.
4. Pergament, A. Oxide Electronics and Vanadium Dioxide Perspective: A Review / A. Pergament, G. Stefanovich, A. Velichko // J. Sel. Top. Nano Electron. Comput. – 2013. – Vol. 1, № 1. – P. 24–43.
5. Stefanovich, G. Electrical switching and Mott transition in VO₂ / G. Stefanovich, A. Pergament, D. Stefanovich // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2000. – Vol. 12, №. 41. – P. 8837.
6. Liu, Y. Review of vanadium-based electrode materials for rechargeable aqueous zinc ion batteries / Y. Liu, X. Wu // Journal of Energy Chemistry. – 2021. – Vol. 56. – P. 223–237.
7. Ракоч, А.Г. Микродуговое оксидирование лёгких сплавов / А.Г. Ракоч, И.В. Бардин // Металлург. – 2010. – № 6. – С. 58–61.