

Разработка технологии изготовления тонкопленочных покрытий для абсорберов солнечной энергии

Е.Н. Галаганова

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, ул. 2-ая Бауманская, д. 5, lenagalaganowa@mail.ru

Для разработки новых покрытий и успешной отработки технологии нанесения тонких пленок важно иметь оптимальную конструкцию вакуумной камеры и современную оснастку. В данной статье представлено описание установки МИР – 2М и рассмотрено применение тонких пленок оксинитрида титана в качестве абсорбера солнечной энергии, а также представлены результаты экспериментов по нанесению селективных покрытий.

The development of manufacturing technology of thin-film coatings for solar energy absorbers. Galaganova E.N. For the optimum design of the vacuum chamber and modern equipment it is important to develop new coatings and successfully develop the technology of thin films deposition. This article describes how to install the MIR – 2M; the use of thin films of oxynitride titanium as the absorber of solar energy is considered as well as the results of the experiments for selective coating.

Альтернативные источники энергии безопасны для экологии и их использование представляет экономический эффект для потребителя. В качестве источника энергии можно использовать, например, кинетическую энергию ветра, движение воды в морях и океанах и солнечный свет. Последний вид энергии может быть преобразован в электрическую (применение солнечных батарей) и тепловую (применение коллекторов солнечной энергии, рис.1).

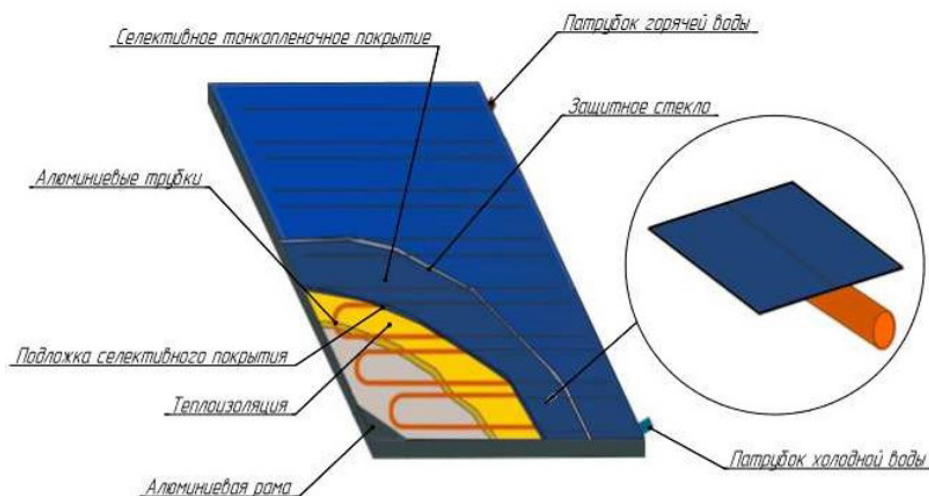


Рис. 1. Плоский цельнолистовой коллектор солнечной энергии.

Абсорбер – это ключевая часть солнечного коллектора. В абсорбере происходит процесс преобразования солнечной энергии в тепловую энергию, которая передается теплоносителю. Абсорбирующее покрытие может быть нанесено на различные материалы, такие как медь, алюминий, стекло. Неизменным является то, что абсорбер находится на освещенной солнечным излучением части коллектора. Для создания таких покрытий, абсорбирующих поток солнечной энергии, используется вакуумное технологическое оборудование, в частности установка магнетронного распыления МИР – 2М.

На предложенной установке МИР – 2М отрабатывается технология нанесения покрытия оксинитрида титана для получения поверхности с высоким коэффициентом поглощения солнечной энергии. Это покрытие с повышенной стойкостью, которое используется в качестве

износостойкого, жаропрочного, а иногда и декоративного. Нанесение оксинитрида титана представляет собой химический процесс, происходящий, как правило, при температуре 1200°C.

Пленки оксинитрида титана находят широкое применение для изготовления солнечных фотоприемников, датчиков видимого и УФ излучения, газовых сенсоров, а также для использования в качестве фотокатализаторов и антиотражающих покрытий. В микроэлектронике данные пленки нашли применение в качестве химически стойких проводящих электродов, диффузионных барьеров, газовых барьеров материала для создания омических контактов.

Магнетронный способ нанесения покрытий обладает такими преимуществами, как высокая скорость осаждения пленки, высокий показатель адгезии покрытия и равномерность его толщины. Для тонкопленочных покрытий важнейшими параметрами качества процесса являются адгезия и равномерность поверхности. Уровень адгезии зависит от технологического аспекта: изначальная чистота поверхности заготовки, подобранные наносимые материалы и материалы подложки, толщина покрытия [1]. Параметр равномерности получаемого покрытия зависит от вышеперечисленных факторов, а также важную роль играет равномерность движения заготовок. Методика магнетронного распыления дает возможность наносить очень тонкое покрытие, обладающее высокой стойкостью. Для получения покрытий с высокой адгезией сначала наносится подслой титана, затем слой оксинитрида титана. Сохранить эти преимущества возможно лишь при соблюдении требований, как к технологической схеме, так и к конструкции установки. Принципиальная схема установки МИР – 2М представлена на рис. 2.

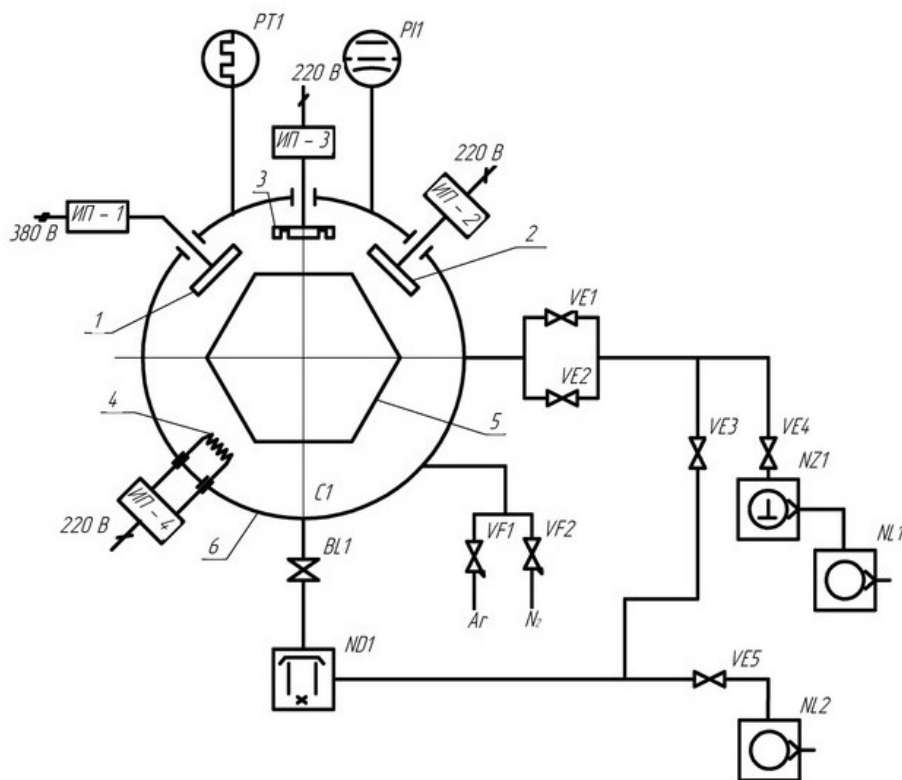


Рис. 2. Схема установки МИР - 2М. 1 - магнетрон с Al - мишенью; 2 - магнетрон с Ti - мишенью; 3 - ионная пушка; 4 - нагреватель; 5 - нагреватель; 6 - вакуумная камера; ИП-1 - штатный источник питания магнетрона; ИП-2 - штатный источник питания магнетрона; ИП-3 - источник питания ионной пушки; ИП-4 - источник питания нагревателя; ND1 - диффузионный насос; NZ1 - двухроторный насос Рутса; NL1 - пластинчато-роторный насос НВР - 16; NL2 - пластинчато-роторный насос НВР - 5Д.

При проведении технологического процесса нанесения титана и оксинитрида титана экспериментально установлено, что для данной расчётной схемы неравномерность толщин

тонких плёнок колеблется в диапазоне 5 – 7 % и является незначительной, принимая во внимание допуски на толщины слоёв.

Испытания, проведенные с целью отработки технологии нанесения тонких плёнок поглощающего покрытия, показали, что качество абсорбера солнечной энергии напрямую зависит от толщин адгезионного подслоя титана и селективного покрытия, следовательно, необходимо контролировать данный параметр и строго соблюдать его точность. Рассматривая качество коллектора солнечной энергии в целом, необходимо соблюдать точность размеров абсорбера, так как площадь поглощающего покрытия определяет производительность устройства [2]. Основываясь на экспериментальных данных, были назначены основные параметры изделия: толщина адгезионного слоя титана составляет $0,1_{\pm 0,01}$ мкм, толщина поглощающего покрытия оксинитрида титана равна $0,22_{\pm 0,02}$ мкм. Данные тонкие плёнки нанесены на алюминиевую подложку, выполненную из листа марки А0 толщиной 500–50 мкм. Для получения определенных толщин тонких плёнок методом магнетронного распыления были проведены расчёты, по результатам которых получена продолжительность нанесения слоев [3].

Значения расхода аргона Y_{Ar} при нанесении подслоя титана и оксинитрида титана и значение расхода воздуха Y_{N_2,O_2} , состоящего на 78% из азота и на 21% из кислорода, а также значение силы тока магнетрона, определены экспериментально (табл. 1).

Таблица 1 – Параметры технологического процесса.

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Материал 1-го слоя	Ti
2	Толщина, нм	~100
3	Режимы	
	$P_{\text{раб}}, \text{Па}$	$1,7 \cdot 10^{-1}$
	$Y_{Ar}, \text{м}^3/\text{ч} \cdot 10^3$	0,70
	t, мин	10
4	Материал 2-го слоя	TiO_xN_y
5	Толщина, нм	220
6	Режимы	
	$P_{\text{раб}}, \text{Па}$	$1,7 \cdot 10^{-1}$
	$Y_{Ar}, \text{м}^3/\text{ч} \cdot 10^3$	0,22
	$\sum Y_{O_2,N_2}, \text{м}^3/\text{ч} \cdot 10^3$	2,90
	t, мин	15

При отработке технологии были обнаружены проблемы, связанные с проведением технологического процесса и конструкцией установки МИР – 2М. В процессе напыления во время работы магнетрона до установления постоянного режима тока возникают микродуги. В основном, это явление связано с загрязнениями поверхности мишени, а в редких случаях из-за работы блока питания. В связи с этим, мишень начинает «брызгать» наносимым материалом, что существенно сказывается на качестве покрытия. Если при производстве существует возможность расположить заготовки так, чтобы разместить их на пяти гранях шестиугольного барабана, то шестая грань играет роль заслонки на время работы магнетрона с возникновением микродуг. Но если необходимо полностью загрузить установку, то щит для брызг металла не предусмотрен.

В качестве решения данной проблемы было установлено, что для улучшения проводимых в камере технологических процессов необходимо размещение заслонки. Для магнетрона диаметром 100 мм рекомендуется установить заслонку с ручным управлением. Наличие заслонки позволяет проводить тренировку мишени, не влияя на загрузку камеры, также это является решением согласно международным стандартам. На рис.3 изображена схема вакуумной камеры с установленной заслонкой для отработки мишени.

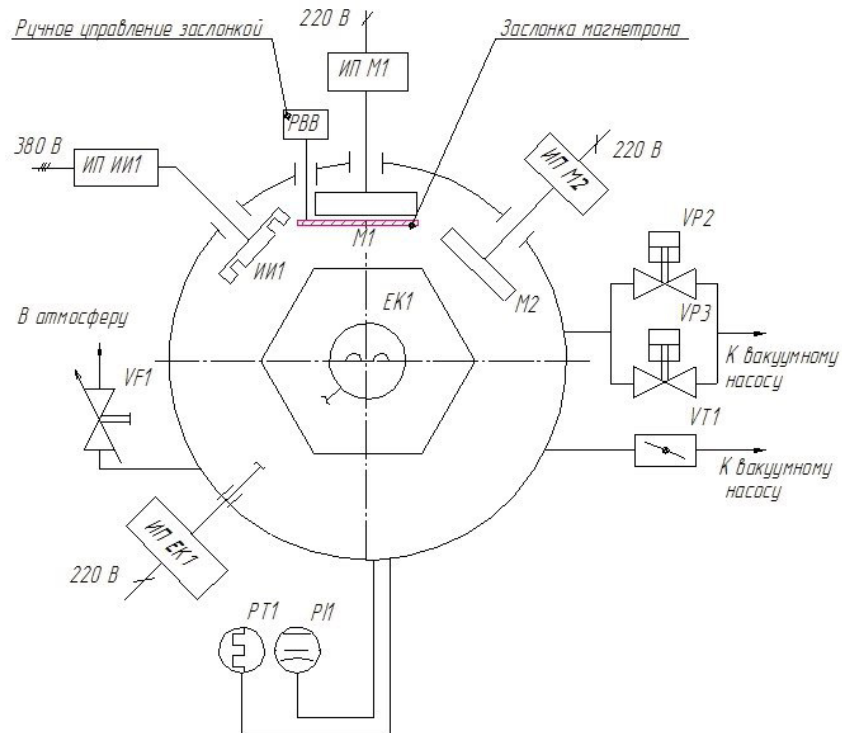


Рис. 3. Схема вакуумной камеры установки МИР – 2М.

Данное усовершенствование конструкции камеры направлено на улучшение результатов технологического процесса вакуумного нанесения тонких пленок оксинитрида титана и любых других материалов, распыление которых возможно на данной установке.

Выводы

При разработке технологии изготовления образцов абсорбера для коллектора солнечной энергии было установлено, что на качество покрытия влияет первоначальная подготовка подложек перед проведением техпроцесса и соотношение рабочих газов в камере при нанесении тонких плёнок титана и оксинитрида титана. Получены режимы ключевых операций изготовления абсорбера: нанесение тонких плёнок титана и оксинитрида титана на алюминиевые подложки методом магнетронного нанесения. Определено, что для реализации эффективных толщин покрытия необходимо проводить нанесение подслоя титана в среде аргона в течение 10 минут; нанесение слоя оксинитрида титана проводить в течение 20 минут. Также предложено решение по модернизации установки МИР – 2М с целью улучшения результатов технологического процесса.

Литература

1. Лучкин А.Г., Лучкин Г.С. Очистка поверхности подложек для нанесения вакуумно-плазменными методами / Лучкин А.Г., Лучкин Г.С. // Вестник Казанского технологического университета – 2012. - № 15. – с. 208-210.
2. Давиденко А.П. Сравнительный анализ силикатного стекла и поликобраната в теплоизоляционном кожухе гелиоколлектора / Давиденко А.П. // Научная периодика НТУ ХПИ. – 2010. - № 8. – с. 7-9.
3. Технология тонких пленок (справочник). Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. Нью-Йорк, 1970. Пер. с англ. Под ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко. Т.1. М., «Сов. радио», 1977, 664 с.