

УДК 538.93

А.В.Завгородний, Г.П.Амочаева, Д.А.Афанасьев

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова
(E-mail: a_d_afanasyev@mail.ru)*

Использование современных методов конструирования экспериментальных приборов при разработке установки для полиионной сборки тонких пленок

В работе приведены результаты разработки и изготовления экспериментальной установки для проведения полиионной сборки тонких пленок на поверхности твердой подложки. Основу управляющей работой установки электроники составляет микроконтроллер фирмы STMicroelectronics STM32F103CBT6. Для изготовления механических элементов установки был использован метод послойного наплавления FDM. В работе показан алгоритм работы установки и приведена электрическая принципиальная схема.

Ключевые слова: полиионная сборка, STM микроконтроллер, электрическая принципиальная схема, шаговый двигатель.

В настоящее время появляется все большее количество различных устройств, в которых основным функциональным элементом является тонкая органическая или неорганическая пленка [1, 2]. Существует большое количество методов получения тонких пленок. Использование того или иного метода зависит от физико-химических свойств вещества, геометрии и природы подложки, скорости производства и материальных затрат. Наиболее перспективным подходом при создании наноразмерных слоев органических и неорганических соединений является использование принципа самоорганизации их молекул на поверхности раздела фаз [3]. Примерами практического использования указанных принципов являются методы Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ) и полиионной сборки [3–5].

Метод полиионной сборки состоит в последовательной адсорбции из водного раствора на твердую подложку положительно или отрицательно заряженных молекул полимеров полиэлектролитного типа, образующих заряженные адгезионные монослои [3]. Перспективность данного метода подтверждается использованием его для создания элементов молекулярной электроники [6] и для изготовления стекол с гидрофобными свойствами [7].

В работе приведены результаты разработки автоматизированной установки для получения тонких пленок на твердой поверхности методом полиионной сборки. Установка позволяет проводить сорбции ионов в разных растворах, находящихся в 6 ячейках поворотной платформы в строго заданном временном интервале. Также имеется возможность подачи стабилизированного напряжения на погружаемый образец в диапазоне от 0 до 5 В с разрешением 0,1 В. Внешний вид установки изображен на рисунке 1.

В состав установки входят:

- 1) поворотная платформа с 6 ячейками для растворов;
- 2) шаговый двигатель для поворота платформы;
- 3) устройство с шаговым двигателем для погружения обрабатываемого образца (ось Z);
- 4) Г-образная крепежная вертикальная ось (ось Z);
- 5) Т-образное крепление основания;

- б) платы управления (не изображена);
- 7) клипсы с электродами для закрепления обрабатываемого образца.

Поднятие и опускание образца по оси Z обеспечивает шаговый двигатель NEMA17 с закрепленной на валу зубчатой шестерней, соединенной с подвижной зубчатой рейкой. Форма зубьев шестерни и рейки обеспечивает надежное эвольвентное зацепление. Все необходимые механические детали напечатаны из ABS пластика на 3D принтере. Прижимной ролик рейки состоит из корпуса, двух подшипников и болта М3, позволяющего установить необходимый прижим рейки к зубчатой шестерне (рис. 2).



Рисунок 1. Внешний вид установки

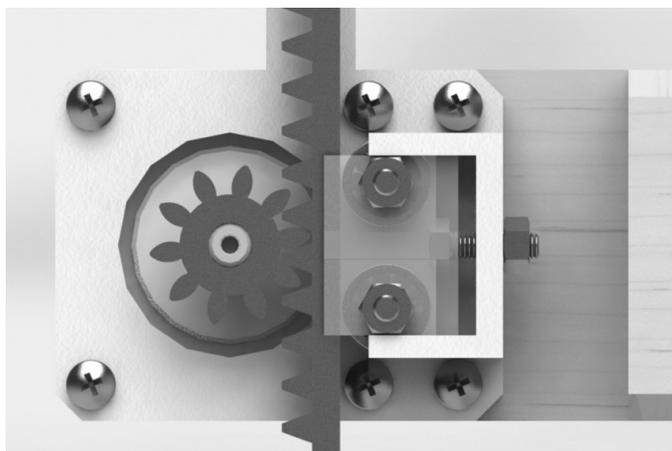


Рисунок 2. Механическое устройство оси Z

Шестерня и все детали распечатаны на 3D принтере методом FDM. Метод послойного наплавления FDM (англ. Fused deposition modeling) предназначен для аддитивного производства 3-мерных моделей, спроектированных в специализированном программном обеспечении для механического трехмерного проектирования (CAD системы) [8].

Для создания трехмерных объектов происходит послойное нанесение последовательных слоев материала, формирующего объем изготавливаемого объекта. В качестве материалов для печати выступают термопластики, поставляемые в виде катушек нитей или прутков. Технология FDM была разработана С.Скоттом Траппом в конце 1980-х гг. и вышла на коммерческий рынок в 1990 г. [9]. Точность деталей установки после печати на 3D принтере составила $\pm 0,1$ мм. Точность печати определялась с помощью калибровочных моделей [10].

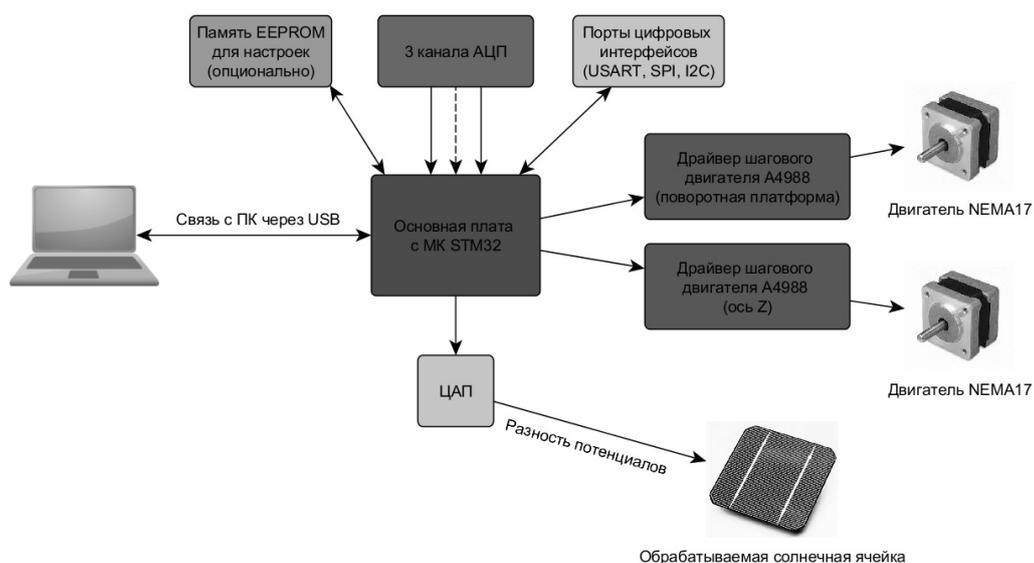


Рисунок 3. Блок-схема установки

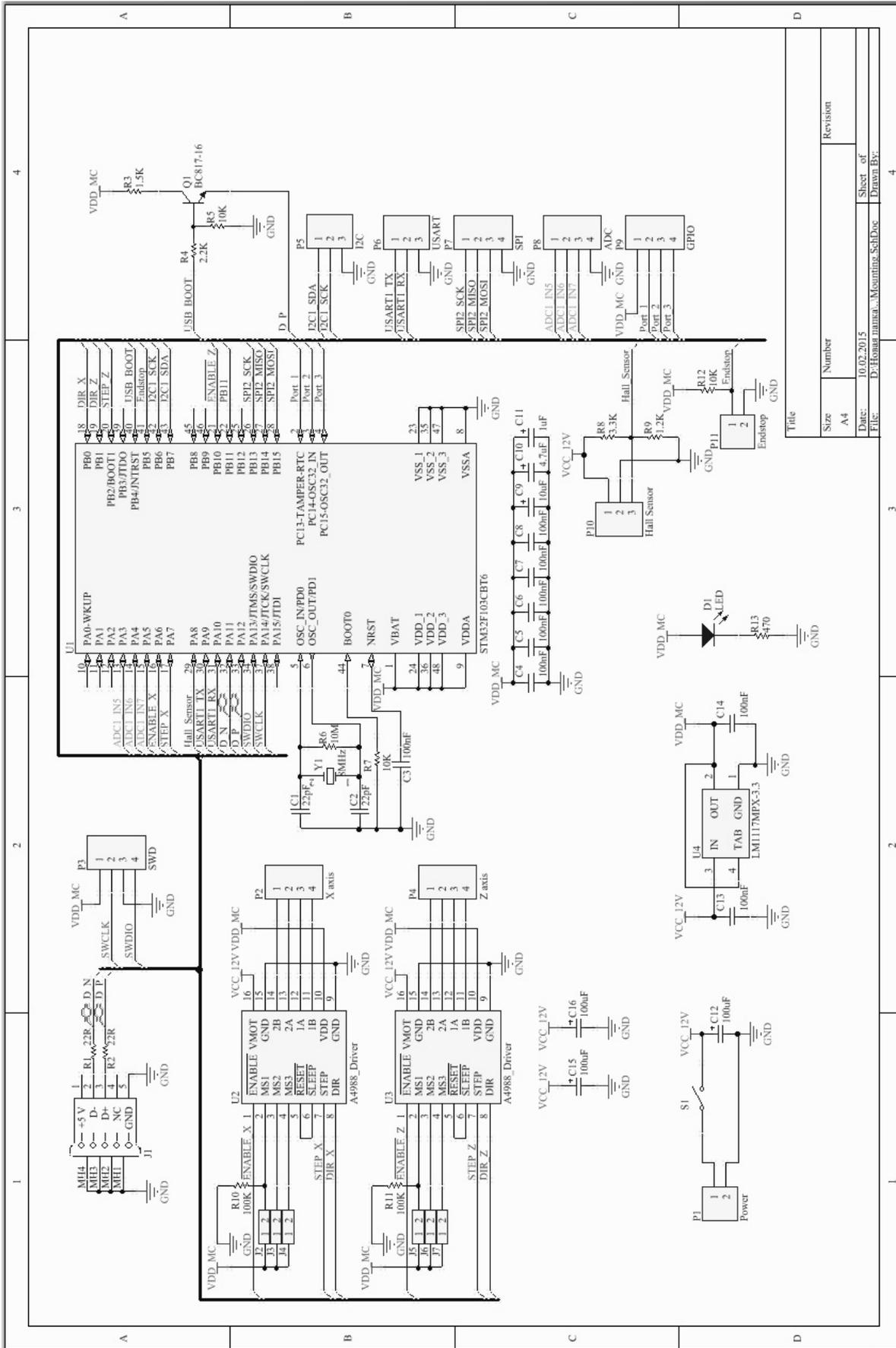


Рисунок 4. Принципиальная электрическая схема

Установка состоит из следующих функциональных блоков (рис. 3):

- 1) основная плата управления, построенная на микроконтроллере STM32;
- 2) три канала АЦП;
- 3) микросхемы памяти EEPROM (опционально);
- 4) периферийные цифровые интерфейсы;
- 5) микросхемы ЦАП;
- 6) два специализированных драйвера шагового двигателя;
- 7) два шаговых двигателя NEMA17 для поворотной платформы и оси Z;
- 8) персональный компьютер.

Принципиальная электрическая схема установки приведена на рисунке 4. Управление исполнительными элементами и обмен данными с персональным компьютером происходят при использовании микроконтроллера фирмы STMicroelectronics STM32F103CBT6. Микроконтроллер STM32F103CBT6 имеет 37 цифровых линий ввода-вывода.

Для питания установки на разъем *P1* через выключатель *S1* подается стабилизированное напряжение 12 В от блока питания. Минимальный ток блока питания, необходимый для корректной работы установки, составляет 500 мА. Микросхема *U4* — стабилизатор напряжения 3,3 В требуется для питания микроконтроллера *U1* и логики драйверов *U2* и *U3*. Для передачи данных в ПК используется USB интерфейс. Транзистор *Q1* обеспечивает подтяжку USB линии D+ до уровня лог. 1 после инициализации программного обеспечения контроллера. Подтяжка необходима в соответствии со спецификацией работы шины USB.

Микросхемы *U2* и *U3* являются цифровыми драйверами шаговых двигателей для поворотной платформы и оси Z. Для управления двигателями необходимо установить лог. 0 на выводе ENABLE микросхем *U2*, *U3* для перевода микросхем во включенное состояние. Для выбора угла поворота оси двигателя на один шаг необходимо установить переключки на выводах *MS1*, *MS2*, *MS3* согласно таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Варианты шага двигателя NEMA17

<i>MS1</i>	<i>MS2</i>	<i>MS3</i>	Угол поворота оси двигателя на один шаг
лог. 0	лог. 0	лог. 0	1,8°
лог. 1	лог. 0	лог. 0	1,8°/2
лог. 0	лог. 1	лог. 0	1,8°/4
лог. 1	лог. 1	лог. 0	1,8°/8
лог. 1	лог. 1	лог. 1	1,8°/16

Двигатель NEMA17 способен обеспечить разрешение 1,8 градуса на шаг (при полном шаге). Для достижения требуемой точности используется шаг двигателя 1,8°/16. Исходя из этого на выводах *MS1*, *MS2*, *MS3* установлена логическая 1. Для поднятия и опускания твердой подложки и для вращения поворотной платформы в обоих направлениях используется цифровой вход *DIR* (необходим для установки направления вращения двигателя лог. 0 или лог. 1).

Для управления шаговыми двигателями микроконтроллер передает импульсы минимальной длительностью 1 мкс на вывод *STEP* драйвера шагового двигателя (микросхемы *U2*, *U3*). Количество импульсов соответствует количеству шагов, необходимых для поворота на заданный угол вала двигателя.

В таблице 2 показано функциональное назначение портов, приведенных на рисунке 4.

Т а б л и ц а 2

Назначение портов установки

Порт	Назначение
1	2
J1	Порт USB-mini для подключения к компьютеру
P1	Питание 12В
P2, P4	Разъем для подключения шаговых двигателей
P3	Порты программирования микроконтроллера

1	2
P5	Цифровой интерфейс I2C
P6	Цифровой интерфейс USART
P7	Цифровой интерфейс SPI
P8	3 канала АЦП
P9	3 дополнительные цифровые линии ввода-вывода
P10	Датчик на эффекте Холла (для поворотной платформы)
P11	Концевой выключатель (для ограничения оси Z)

При первоначальном включении питания установка «микроконтроллер» переходит в режим ожидания команд с ПК. Алгоритм управления установкой осуществляется посредством компьютера в специализированной программе, написанной на языке графического программирования LabVIEW. Назначение микроконтроллера состоит в распределении команд по функциональным блокам установки.

В главном окне управления установкой пользователь задает алгоритм работы и временные характеристики микроконтроллера. В поле «Ячейка и время» задаются номер ячейки и время выдержки. Расписание ячеек и времени отображается в таблице.

Необходимо закрепить на оси Z обрабатываемый образец, налить соответствующие растворы в сосуды. Далее пользователю нужно нажать на кнопку «Начальные точки» для установки в начальные точки поворотной платформы и оси Z. Двигатель начинает подъем подложки до срабатывания концевого выключателя. После завершения подъема происходит вращение поворотной платформы до срабатывания положения начальной точки бесконтактного датчика Холла. Запуск установки происходит по нажатию кнопки «Начать процесс». Процесс полиионной сборки тонких пленок на поверхности подложки происходит в автоматическом режиме, без участия пользователя.

В настоящее время существует ограниченное количество установок для полиионной сборки тонких пленок. Цена установок достаточно высокая, поэтому экономически целесообразно спроектировать и изготовить установку самостоятельно. Технические характеристики установки подбираются индивидуально под необходимые задачи. Использование современных методов разработки и современной электронной элементной базы позволило изготовить механическую часть установки и установку с малыми массо-габаритными характеристиками.

Список литературы

- 1 Zribi A., Fortin J. Functional thin films and nanostructures for sensors. — New York: Springer, 2009. — 223 p.
- 2 Hamakawa Yo. Thin-film solar cells. Next generation photovoltaics and its applications. — New York: Springer, 2004. — 258 p.
- 3 Яценюк А.М. Формирование наноразмерных покрытий методами полиионной сборки и Ленгмюра-Блоджетт и исследование их электрофизических свойств: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 20.05.07. — Саратов: СГУ, 2007. — 16 с.
- 4 Адамсон А. Физическая химия поверхностей. — М.: Мир, 1979. — 161 с.
- 5 Блинов Л.М. Ленгмюровские пленки // Успехи физ. наук. — 1988. — Т. 155, № 3. — С. 443–480.
- 6 Decher G., Schlenoff J.B. Multilayer thin films: Sequential assembly of nanocomposite materials. — Wiley-VCH, 2012. — 1112 p.
- 7 Kotov N.A. Layer-by-layer self-assembly: The contribution of hydrophobic interactions // Nanostructured Materials. — 1999. — Vol. 12. — P. 789.
- 8 [ЭР]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Система_автоматизированного_проектирования](https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_автоматизированного_проектирования)
- 9 [ЭР]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Моделирование_методом_наплавления](https://ru.wikipedia.org/wiki/Моделирование_методом_наплавления)
- 10 [ЭР]. Режим доступа: <http://thingiverse.com/>

А.В.Завгородний, Г.П.Амочаева, Д.А.Афанасьев

Жұқа қабыршақтарды полиионды құрастыруға арналған құрылғыны жобалау кезінде эксперименталды аспапты құрастыруда қазіргі заманғы әдістерді қолдану

Макалада қатты денелі төсеніштің бетіне жұқа қабыршақтарды полиионды құрастыруға жүргізу үшін арналған эксперименталды аспапты құрастыру және жобалау нәтижелері баяндалған. Құрылғының

электроникасын басқарушысы ретінде STMicroelectronics STM32F103CBT6 фирмасының микроконтроллері қолданылды. Аспаптың механикалық элементтерді құрастыру тізбектей қабатталған FDM балқыту әдісі арқылы жүзеге асты. Авторлар құрылғының жұмыс алгоритмі және электрлік құрылымдық сұлбасы келтірген.

A.V.Zavgorodniy, G.P.Amochaeva, D.A.Afanasyev

Using the of modern methods of experimental design in the development of devices for layer by layer assembly of thin films installation

Results of the experimental design and manufacturing systems for carrying out the layer by layer assembly thin films on the surface of the solid substrate are given in our article. Microcontrollers from STMicroelectronics STM32F103CBT6 is the basis of the control electronics of the unit. FDM fusing laminating method was used to manufacture the mechanical components of the installation. algorithm of work installation and electric circuit diagram shown in the article.

References

- 1 Zribi A., Fortin J. *Functional thin films and nanostructures for sensors*, New York, Springer, 2009, 223 p.
- 2 Hamakawa Yo. *Thin-film solar cells. Next generation photovoltaics and its applications*, New York, Springer, 2004, 258 p.
- 3 Yaschenok A.M. *Formation of nanoscale coatings by polyion assembly and Langmuir-Blodgett films and study their electrical properties*: Abstract of cand. dis. ... physical and mathematical sciences: 20.05.07, Saratov: Saratov State University, 2007, 16 p.
- 4 Adamson A. *Physical chemistry of surfaces*, Moscow: Mir, 1979, 161 p.
- 5 Blinov L.M. *Sov. Phys. Usp.*, 1988, 31, p. 623–644.
- 6 Decher G., Schlenoff J.B. *Multilayer thin films: Sequential assembly of nanocomposite materials*, Wiley-VCH, 2012, 1112 p.
- 7 Kotov N.A. *Nanostructured Materials*, 1999, 12, p. 789.
- 8 https://ru.wikipedia.org/wiki/Система_автоматизированного_проектирования
- 9 https://ru.wikipedia.org/wiki/Моделирование_методом_наплавления
- 10 <http://thingiverse.com/>