УДК 621.793.182

Отработка технологии формирования медных электродов на гибких полимерных подложках

Кислов Кирилл Александрович(*) kislovka@student.bmstu.ru
Макарова Камила Турекхановна makarovakt@student.bmstu.ru
Моисеев Константин Михайлович k.moiseev@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. *Медные электроды, в основном, изготавливаются на жестких подложках, таких как стекло или керамика. Однако растущий спрос на гибкие и портативные электрохимические устройства* [1] *привел к необходимости разработки технологий формирования медных электродов на полимерных подложках. В статье рассматривается технология формирования медных электродов на гибких полимерных подложках из ПВДФ пленки. Произведена отработка скоростей осаждения меди методом магнетронного распыления на твердых подложках. Подобран режим нанесения медных электродов на полимерные подложки из ПВДФ пленки. Рассмотрен способ измерения поверхностного сопротивления для контроля качества нанесенных покрытий для датчиков.*

Ключевые слова: *сегнетоэлектрические полимеры, ПВДФ, магнетронное распыление, медь, скорость осаждения, поверхностное сопротивление*

Development of technology for forming copper electrodes based on flexible polymer substrates

Kislov Kirill Aleksandrovich(*) kislovka@student.bmstu.ru
Makarova Kamila Turekkanovna makarovakt@student.bmstu.ru
Moiseev Konstantin Mikhailovich k.moiseev@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

Absrtact. Copper electrodes are widely used in various electrochemical devices, including batteries, fuel cells and electrocatalysts [1]. Copper electrodes are mainly made on rigid substrates such as glass or ceramics. However, the growing demand for flexible and portable electrochemical devices has led to the need to develop technologies for forming copper electrodes on polymer substrates. The article discusses the technology of forming copper electrodes on flexible polymer substrates made of PVDF film. The copper deposition rates were tested by magnetron sputtering on solid substrates. The mode of applying copper electrodes to polymer substrates made of PVDF film has been selected. A method for measuring surface resistance to control the quality of applied coatings for sensors is considered.

Keywords: piezoelectric polymers, PVDF, magnetron sputtering, electrode, copper, substrate, deposition rate, surface resistance

Введение. Гибкие датчики становятся все более актуальными благодаря их широкому применению в таких областях, как экологический мониторинг [2] и альтернативная энергетика [2]. Актуальность таких датчиков заключается в том, что они обладают высокой чувствительностью (от 1 пКл/Н до нескольких нКл/Н), широким динамическим диапазоном (от 1Н до нескольких МН) и низким энергопотреблением [2].

Стандартная структура датчика на ПВДФ пленке состоит из ПВДФ пленки с нанесенным на нее электродом, защитного слоя из полиимида и субстрата для электрической изоляции датчика [3]. Электроды служат для сбора этого сгенерированного электрического заряда

Наиболее распространенный метод нанесения электродов является магнетронное распыление [4]. Однако полимеры имеют температурные ограничения в технологических режимах процесса. На пленке могут возникнуть механические дефекты, что может привести к снижению чувствительности, утечки заряда и снижению надежности будущего датчика.

Цель работы — отработка технологии формирования медных электродов на гибких полимерных подложках, для контроля толщины пленки и минимизации дефектов.

Материалы и методы. Процессы формирования тонкопленочных электродов на поверхности ПВДФ пленки проведены на вакуумной установке магнетронного распыления. Для нанесения и последующего измерения толщины использовались подложки из кварцевого стекла.

Измерение толщины нанесенного слоя проводилось методом микроинтерферометрии на приборе МИИ-4. Контроль поверхностного сопротивления полученных пленок проводился с использованием четырехзондового метода Кельвина [5].

Результаты. Результаты измерений толщины в зависимости от мощности распыления представлены в таблице.

Результаты измерений толщин

Мощность, Вт	Подложка	Измеренная толщина, нм
100	Кварцевое стекло	78
200	Кварцевое стекло	115
300	Кварцевое стекло	132

Далее продемонстрирован график зависимости скорости осаждения от мощности (рис. 1).

Далее продемонстрирован график зависимости поверхностного сопротивления от мощности магнетрона (рис. 2).

Обсуждение полученных результатов. По графику (рисунок 1) видно, что при росте мощности, подаваемой на магнетрон, увеличивается скорость осаждения меди, что подтверждается литературными данными [4]. Определив скорость осаждения при определенной мощности, мы можем контроли-

ровать толщину нанесения электрода, что очень важно для создания датчиков на ПВДФ — пленке.



Рис. 1. Зависимость скорости осаждения от мощности



Рис. 2. Зависимость поверхностного сопротивления от мощности магнетрона

Полученная зависимость поверхностного сопротивления (рисунок 2) говорит об уменьшении поверхностного сопротивления медной пленки при повешении мощности распыления, что также подтверждается литературными данными [6]. Нанесение медных электродов на полимерную подложку решено проводить при мощности распыления 150 Вт, что удовлетворяет наши требования к величине поверхностного сопротивления электрода и отсутствию деформации пленки

Заключение. В ходе работы отработана технология формирования медных электродов на гибких полимерных подложках и выявлен режим, при котором тонкая полимерная ПВДФ пленка после нанесения меди не деформируется и не разрушается (150 Вт). Поверхностное сопротивление электрода, нанесенного при выбранной мощности, составила 12,53 Ом/кв. Также изучен четырехзондовый метод Кельвина для измерения поверхностного сопротивления.

В дальнейшем планируется продолжение исследований в области изучения влияния режимов магнетронного распыления на полимерную подложку.

Список источников

[1] Zih-Yu Shih, Chia-Wei Wang, Guobao Xub, Huan-Tsung Chang. Porous palladium copper nanoparticles for the electrocatalytic oxidation of methanol in direct methanol fuel cells. Journal of Materials Chemistry A, 2013, vol. 1, no. 15, art. 4773.

[2] Кочервинский В.В. Пьезоэлектричество в кристаллизующихся сегнетоэлектрических полимерах на примере поливинилиденфторида и его сополимеров. *Кристаллография*, 2003, т. 48, № 4, 699 с.

[3] Chen D., Hang M., Chen K., Brown C., Zha J.H.J. Piezoelectric PVDF thin films with an asymmetric structure. Microporous structures for pressure measurement. IEEE Sensors, 2015. https://doi.org/10.1109/ICSENS.2015.7370649

[4] Mitsunobu Sato, Li Lu, Hiroki Nagai. Lithium-ion Batteries Thin Film for Energy Materials and Devices. London, IntechOpen, 2020, 132 p.

[5] Xiao Lin, Xiaobo He, Junling Lu et al. Manipulation and four-probe analysis of nanowires in UHV by application of four tunneling microscope tips: a new method for the investigation of electrical transport through nanowires. Surface and Interface Analysis, 2006, vol. 38, pp. 1096–1102.

[6] Богатов В.А., Захаров С.С., Кисляков П.П., Крынин А.Г., Хохлов Ю.А. *Влияние режимов магнетронного напыления на оптико-физические свойства медных нанопокрытий*. URL: https://viam.ru/sites/default/files/scipub/2010/2010-205694.pdf (дата обращения 10.08.2024).