

СЕКЦИЯ 4. МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДИСПЛЕЕВ



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2019-125-7-74-80>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 621.793.18+62-932.2

ВАКУУМНАЯ ЛИНЕЙНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ГИДРОФОБНОГО ПРОСВЕТЛЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА СЕНСОРНЫЕ ДИСПЛЕИ

МЫСЛИВЕЦ А.С., РОЗЕЛЬ П.А., ХОХЛОВ Е.А.

ООО ИЗОВАК, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 31 октября 2019

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2019

Аннотация. Целью работы является разработка вакуумного технологического оборудования для напыления интерференционного просветляющего покрытия с последующим нанесением гидрофобного защитного слоя в едином вакуумном цикле. Для напыления интерференционного просветляющего покрытия используется метод магнетронного реактивного распыления в режиме переменного тока с частотой 20 кГц. Данный метод позволяет использовать широкий спектр распыляемых материалов и получать стабильные и качественные покрытия на различных подложках. Для определения оптических характеристик использовали спектрофотометр, которым оценивали коэффициенты пропускания и отражения в видимой области спектра электромагнитного излучения. Для проверки физических характеристик гидрофобного покрытия использовали тест на истирание покрытия металлической ватой с нагрузкой 1 кг/см². Новизной представленного метода является совмещение жидкофазного метода нанесения покрытий совместно с физическим распылением в вакууме без разрыва технологического процесса. Данный метод позволяет добиться увеличения производительности и выхода годных деталей, так как уменьшается количество операций на многоступенчатом этапе производства сенсорного дисплея. После разработки и настройки линейного вакуумного оборудования Augora G5 был получен стабильный и воспроизводимый технологический процесс получения гидрофобных просветляющих покрытий на большие площади с высокой производительностью. Получено просветляющее покрытие со средним коэффициентом отражения менее 0,6 % в диапазоне длин волн 400 до 700 нм. Проверка адгезии показала 0 класс согласно классификации ISO. Полученные покрытия имеют высокие твердость >9Н и стойкость к истиранию >5000 циклов. Итогом данной разработки и исследования является внедрение вакуумного технологического оборудования в производственный процесс изготовления просветляющих гидрофобных покрытий на сенсорные дисплеи.

Ключевые слова: магнетронное напыление, вакуумная система, оксидные пленки.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мысливец А.С., Розель П.А., Хохлов Е.А. Вакуумная линейная установка для нанесения гидрофобного просветляющего покрытия на сенсорные дисплеи. Доклады БГУИР. 2019; 7(125): 74-80.

IN-LINE SPUTTERING COATER OF HYDROPHOBIC ANTIREFLECTION COATING FOR SENSOR DISPLAYS

ALIAKSANDR S. MYSLIVETS, PETR A. ROZEL, EUGENE A. KHAKHLOV

IZOVAC Ltd, Minsk, Republic of Belarus

Submitted 31 October 2019

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2019

Abstract. The aim of the work is to develop vacuum technological equipment for deposition an interference antireflection coating with the evaporation of a hydrophobic protective layer in a single vacuum cycle. To deposition an interference antireflection coating, the method of magnetron reactive sputtering in the alternating current mode with a frequency of 20 kHz is used. This method allows using of a wide range of sputtered materials and obtains stable and high-quality coatings on various substrates. To determine the optical characteristics, a spectrophotometer was used, which evaluated the transmittance and reflection in the visible region of the spectrum of electromagnetic radiation. To check the physical characteristics of the hydrophobic coating, abrasion test of the coating with metal wool with a load of 1 kg/cm² was used. The novelty of the presented method is the combination of the liquid-phase coating method together with physical deposition in a vacuum without interrupting the process. This method allows increasing productivity and yield of suitable parts since the number of operations at the multi-stage stage of production of the touch display is reduced. After the development and adjustment of the Aurora G5 linear vacuum equipment, a stable and reproducible process for producing hydrophobic anti-reflective coatings over large areas with high performance was obtained. An antireflection coating was obtained with an average reflection coefficient of less than 0.6 % in the wavelength range of 400 to 700 nm. The adhesion test showed grade 0 according to the ISO classification. The resulting coatings have high hardness >9 H and abrasion resistance >5000 cycles. The result of this development and research is the introduction of vacuum processing equipment in the manufacturing process for the manufacture of anti-reflective hydrophobic coatings on touch displays.

Keywords: magnetron sputtering, vacuum system, oxide films.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation: Myslivets A.S., Rozel P.A., Khakhlov E.A. In-line sputtering coater of hydrophobic antireflection coating for sensor displays. Doklady BGUIR. 2019; 7 (125): 74-80.

Введение

В последние годы покрытия для оптических поверхностей прошли долгий путь развития. Современные оптические покрытия становятся все более сложными и функциональными, поэтому они могут удовлетворить потребности различных отраслей промышленности: от автомобилестроения, строительства и медицины до электроники, солнечной энергетики и обороны. Развитие этих индустрий, наряду с потребностью в инновационных и передовых покрытиях, является ключевым фактором, стимулирующим развитие оптических материалов для покрытий [1]. Там, где в одних отраслях требуются покрытия для подложек, обеспечивающие исключительную оптическую прозрачность, в других необходимы прозрачные и превосходные защитные материалы от царапин.

В данной работе представлена линейная вакуумная установка для нанесения покрытий Аулога G5, которая решает одновременно обе задачи: производит просветляющее покрытие для уменьшения отражения внешней поверхности защитного стекла и гидрофобный слой, который улучшает механические свойства поверхности стекла дисплея.

Описание вакуумной линейной установки

Линейная вертикальная распылительная система Augoga G5, разработанная IZOVAC, – это гибкая платформа, оптимизированная для массового производства гидрофобного просветляющего покрытия для сенсорных дисплеев на большой площади. Модульность вакуумной системы позволяет конфигурировать оборудование под различные задачи и покрытия.

Установка для нанесения покрытий выполнена в сквозной конфигурации с обратным конвейером для уменьшения габарита и удобства эксплуатации и обслуживания. Система Augoga G5 включает:

- поворотный стол для обеспечения замкнутого цикла перемещения кареток по конвейеру;
- два загрузочных стола для загрузки/выгрузки подложек с каретки;
- хранилище для перемещения кареток для сервиса;
- стол смещения для перемещения кареток между хранилищем и загрузочными столами в автоматическом режиме;
- низковакуумную шлюзовую камеру LVLL 1 и высоковакуумную шлюзовую камеру HVLL 2 для обеспечения непрерывной загрузки кареток без развакуумирования процессорных камер;
- разворотную вакуумную камеру для перемещения кареток на обратный конвейер в вакуумном коридоре;
- пять процессорных камер, в которых происходит послойное осаждение просветляющего гидрофобного покрытия.

Схема вакуумной установки представлена на рис. 1. Поворотный стол, загрузочные столы, стол смещения и хранилище расположены в чистой комнате, остальные камеры и средства откачки расположены в сервисной зоне, в которой происходит обслуживание и профилактика установки.

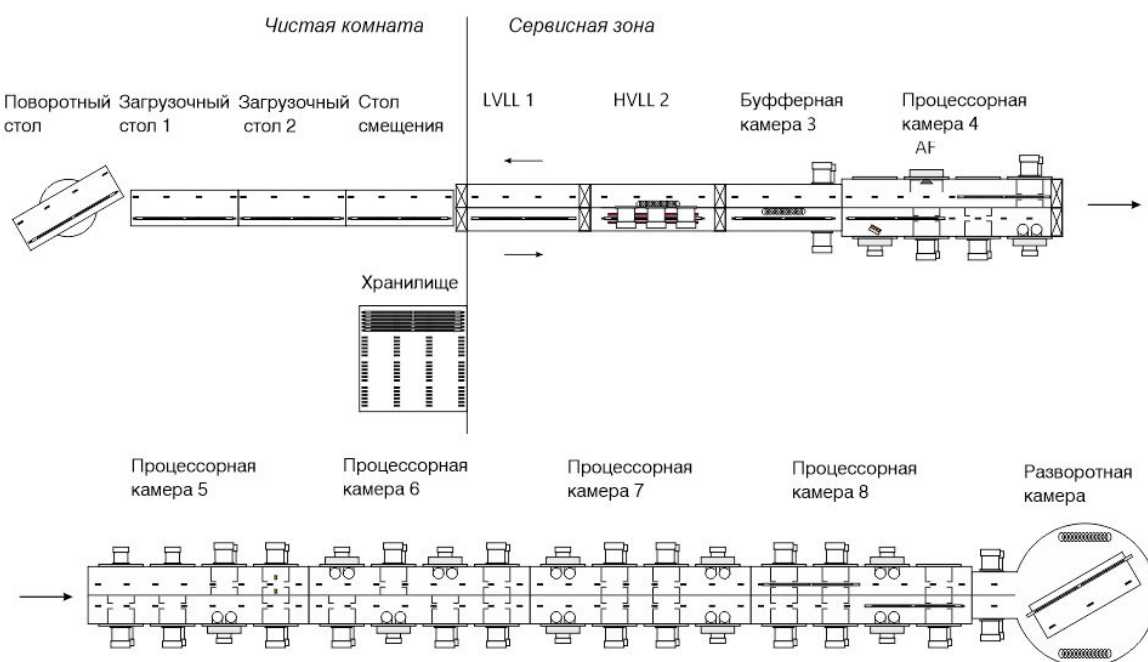


Рис. 1. Схематическое изображение линейной вакуумной установки
Fig. 1. Schematic representation of a linear vacuum coater

Транспортная система разработана с нижними ведущими колесами и магнитной бесконтактной верхней опорой. Такой подход обеспечивает минимальное загрязнение подложек и плавное движение без ударов.

Высоковакуумная откачка осуществляется высокопроизводительными турбомолекулярными насосами и двумя низковакуумными безмаслянными насосами, что гарантирует глубокий и чистый вакуум [2]. Краткие технические характеристики установки представлены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики вакуумной установки
Table 1. Technical characteristics of the coater

Параметр Parameter	Значение Value
Площадь напыления	1100×1200 мм
Материал подложек	Стекло, PET, PMMA
Равномерность осаждения покрытия по площади напыления по толщине	< ±1 %
Минимальный цикл напыления*	60 с
Предельный вакуум	8×10^{-4} Па
Распыляемые материалы	Nb ₂ O ₅ , SiO ₂ , Si ₃ N ₄ , TiO ₂ , AF material
* временной промежуток между выгрузкой каждой каретки из вакуумного коридора на загрузочный стол	

Процессорные камеры оборудованы источником ионов для очистки и активации поверхности подложки, цилиндрическими магнетронными системами для осаждения диэлектрических тонких пленок и испарителем для гидрофобного слоя (AF).

Технологический процесс осаждения покрытия

Обработка технологического процесса осаждения тонких пленок проводилась с целью создания на защитном стекле сенсорного дисплея марки Asahi гидрофобного просветляющего покрытия для видимого спектра электромагнитного излучения в диапазоне длин волн 400–700 нм. Полученное просветляющее покрытие состоит из семи чередующихся слоев с низким и высоким показателями преломления определенной толщины для получения интерференционной структуры с интегральным коэффициентом отражения R_{av} менее 0,6 %. Восьмой функциональный гидрофобный слой (AF) обеспечивает улучшение гидрофобных и механических свойств поверхности покрытия, не ухудшая оптическую характеристику. Порядок следования слоев, их расчетные толщины и коэффициенты преломления представлены в табл. 2.

Таблица 2. Расчетные толщины просветляющего покрытия
Table 2. The estimated thicknesses of the antireflection coating

№ слоя Layer number	Индекс слоя Layer index	Материал Material	n ($\lambda = 550$ нм) n ($\lambda = 550$ nm)	Физическая толщина [нм] Physical thickness [nm]	Оптическая толщина Optical thickness
1	L	SiO ₂	1,47	19,9	29,25
2	H	Nb ₂ O ₅	2,26	13,0	29,38
3	L	SiO ₂	1,47	42,2	60,03
4	H	Nb ₂ O ₅	2,26	43,0	97,18
5	L	SiO ₂	1,47	18,5	27,19
6	H	Nb ₂ O ₅	2,26	39,5	89,27
7	L	SiO ₂	1,47	96,3	141,56
8	A	AF	1,35	3,8	5,13

Оксидные пленки были получены с помощью магнетронного распыления мишеней монокристаллического кремния (mono Si) и оксида ниобия (ceramic NbOx) в среде газов Ar/O₂.

Магнетронная распылительная система состоит из двух цилиндрических катодов (мишеней), которые подключены к блоку питания переменного тока (АС). В процессорных камерах на каждый слой установлено определенное количество магнетронов для получения необходимой толщины слоя, обеспечивая непрерывное передвижение подложек через вакуумный коридор и достижение требуемой производительности.

Гидрофобный слой (AF) получен путем испарения в вакууме при температуре 200–250 °С кремнийсодержащих перфторполиэфиров.

Предварительно перед нанесением просветляющего покрытия производится ионная очистка подложек в среде газов Ar/O_2 с энергиями до 2 кЭв для улучшения адгезии покрытия.

Получаемые образцы после напыления проходили ряд тестов для определения требуемых оптических и механических характеристик:

- оптические характеристики определялись с помощью спектрофотометра Invisio-M (Izovac) в спектральном диапазоне 390–730 нм;

- цветовые координаты покрытия L^*a^*b определялись с помощью колориметра PCE-CSM 3;

- твердость определялась карандашами Microtonic, компании Faber Castell, твердостью от 9В до 9Н;

- контактный угол смачивания определялся с помощью измерителя краевого угла смачивания Asam-NSC;

- адгезия определялась с помощью метода решетчатого надреза с последующим кипячением в воде в течение 60 мин;

- тест на истирание проводился с помощью прибора Gowe Abrasion Tester стальной ватой Bonstar #0000, площадкой 1×1 см, нагрузкой 1 кг, со скоростью перемещения 40 циклов/мин.

Результаты

На рис. 2 представлено сравнение расчетной спектральной характеристики отражения просветляющего покрытия на стекле без учета отражения обратной стороны стекла и спектров отражения полученных образцов.

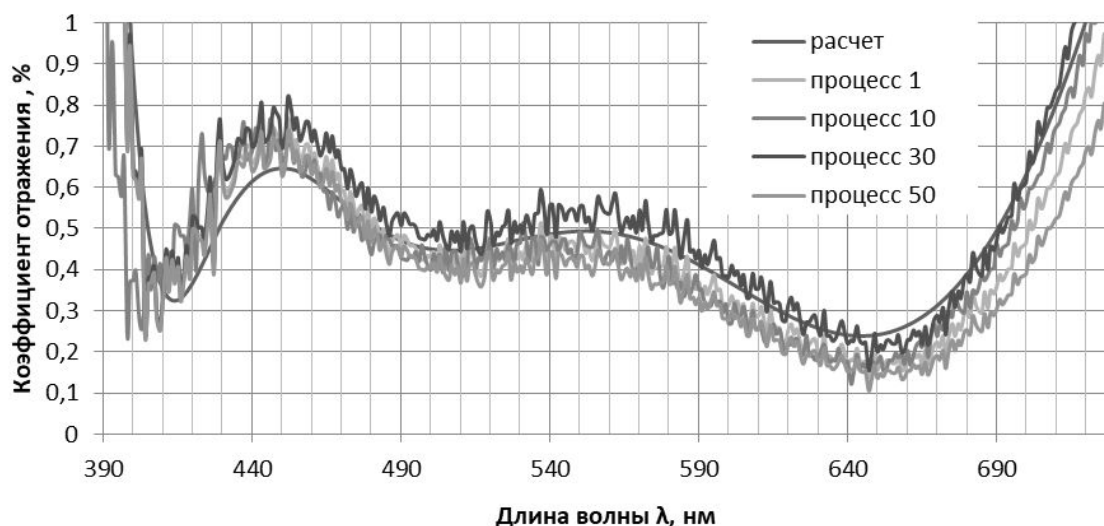


Рис. 2. Спектры отражения просветляющих покрытий без учета второй стороны стекла
Fig. 2. Reflection spectra of antireflection coatings without 2nd side of the substrate

Как видно из рис. 2, коэффициент отражения полученных просветляющих покрытий отличается от расчетной характеристики не более чем на 0,2 %, а результаты напылений воспроизводятся в течение длительного времени. В табл. 3 представлены результаты тестирования полученных покрытий.

Таблица 3. Результаты тестирования покрытия
Table 3. Coverage test results

Интегральный коэффициент отражения R_{av} , %	$\leq 0,6$ %
Твердость	≥ 9 Н
Цветовые координаты**	$-3 \leq a^* \leq 0$ $-3 \leq b^* \leq 0$
Адгезия	5 В***
Контактный угол смачивания	≥ 115 °
Тест на истирание (угол смачивания выше 100 °), циклов	>5000
**К просветляющим покрытиям так же предъявляются требования по цветовым координатам. Полученные значения соответствуют «голубому» цвету по отражению	
***5 В соответствует 0-му классу по ISO: края надрезов гладкие, ни один из квадратов решетки не отделен	

Как видно из табл. 3, полученные покрытия имеют высокую твердость и стойкость к истиранию, что достигается за счет оптимизации технологического процесса осаждения аморфных слоев просветляющего покрытия и последующего осаждения гидрофобного функционального слоя в одном вакуумном цикле.

Заключение

Была представлена магнетронная линейная вертикальная распылительная система Ауога G5 для напыления гидрофобного просветляющего покрытия, которая используется для изготовления подложек большой площади с максимальным размером 1100×1200 мм с неравномерностью осаждения и расхождением между процессами напыления менее 1 %.

На данном оборудовании были получены покрытия с интегральным коэффициентом отражения $R_{av} < 0,6$ %, контактным углом смачивания > 115 °, твердостью 9Н и высокой стойкостью к истиранию.

Список литературы

1. Хохлов Е.А., Мысливец А.С., Смирнов А.Г. Формирование непрозрачного диэлектрического декоративного покрытия для сенсорных дисплеев. *Доклады БГУИР*. 2014; 8 (86).
2. Хохлов Е.А., Войнилович А.Г., Смирнов А.Г. Свойства пленок ZnO и ZnO:Al, перспективных для прозрачных электродов. *Доклады БГУИР*. 2008; 5 (35).
3. Frach P., Gloess D., Goschurny T., Drescher A., Hartung U., Bartzsch H., Heising A., Grune H, Leischnig L., Leischnig S. Large area precision optical coatings by pulse magnetron sputtering. *Proc. SPIE*. 2017: 10181.
4. Donald M.M. *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination control*. New Mexico: Society of Vacuum Coaters Albuquerque; 1998.

References

1. Khakhlov E.A., Myslivets A.S., Smirnov A.G. [Formation of a non transparent dielectric decorative coating for sensor displays]. *Doklady BGUIR=Doklady BGUIR*. 2014; 8 (86).

2. Khakhlov E.A., Voinilovich A.G., Smirnov A.G. [Properties of ZnO and ZnO: Al Films Promising for Transparent Electrodes]. *Doklady BGUIR=Doklady BGUIR*. 2008; 5 (35).
3. Frach P., Gloess D., Goschurny T., Drescher A., Hartung U., Bartzsch H., Heising A., Grune H, Leischnig L., Leischnig S. Large area precision optical coatings by pulse magnetron sputtering. *Proc. SPIE*. 2017; 10181.
4. Donald M.M. *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination control*. New Mexico: Society of Vacuum Coaters Albuquerque; 1998.

Вклад авторов

Мысливец А.С. участвовал в разработке линейного вакуумного технологического оборудования Aurora G5, также выполнил измерение и тестирование оптических и механических характеристик полученных просветляющих покрытий.

Розель П.А. участвовал в разработке линейного вакуумного технологического оборудования Aurora G5. Выполнил настройку технологического процесса напыления, изготовил тестовые образцы гидрофобных просветляющих покрытий.

Хохлов Е.А. участвовал в разработке линейного вакуумного технологического оборудования Aurora G5. Определил задачи, которые необходимо было решить в ходе проведения работы, а также принимал участие в интерпретации их результатов.

Author's contribution

Myslivets A.S. participated in the development of Aurora G5 linear vacuum technological equipment, also performed the measurement and testing of the optical and mechanical characteristics of the obtained antireflection coatings.

Rozel P.A. participated in the development of Aurora G5 linear vacuum processing equipment, set up the deposition process in accordance with the required characteristics and made test samples of hydrophobic antireflective coatings.

Khokhlov E.A. participated in the development of Aurora G5 linear vacuum processing equipment, identified the tasks that needed to be solved during the work, and also participated in the interpretation of the results.

Сведения об авторах

Information about the authors

Мысливец А.С., начальник отдела тонкопленочных технологий компании ООО ИЗОВАК.

Myslivets A.S., chief of Thin-film Technology Department of Izovac ltd.

Розель П.А., руководитель проектов НИОКР компании ООО ИЗОВАК.

Rozel P.A., project manager R&D of Izovac ltd.

Хохлов Е.А., руководитель департамента разработок компании ООО ИЗОВАК.

Khokhlov E.A., head of R&D Department of Izovac ltd.

Адрес для корреспонденции

Address for correspondence

220075, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. М. Богдановича, д. 155-907,
ООО ИЗОВАК
тел. +375-25-674-97-17;
e-mail: myslivets@izovac.com
Мысливец Александр Сергеевич

220075, Republic of Belarus,
Minsk, M. Bogdanovicha st., 155-907,
Izovac ltd.
tel. +375-25-674-97-17;
e-mail: myslivets@izovac.com
Myslivets Aliaksandr Sergeevich