



ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ – НАНОТЕХНОЛОГИИ

*С.Нестеров, д.т.н., проф., заместитель
генерального директора по научной работе ОАО
"НИИВТ им. С.А.Векшинского" / sbnesterov@niivt.ru*

В середине апреля 2013 года в КВЦ "Сокольники" проходила VIII международная конференция "Вакуумная техника, материалы и технология".

Еще в 2005 году был сформулирован ее девиз "Вакуумная техника, криогенная техника и нанотехнология – три кита, на которых держится мир высоких технологий". Важно отметить, что тематика докладов всех прошедших конференций полностью соответствовала этому девизу, причем в материалы последней конференции были включены 59 докладов 153 авторов, представляющих 52 организации из 17 городов [1, 2].

В частности, в докладе автора статьи рассмотрено современное состояние мировой и отечественной вакуумной науки, техники и технологии. Отмечается, что это направление и нанотехнология не могут существовать друг без друга, причем основная тенденция в развитии современной вакуумной техники состоит в создании принципиально новых безмасляных средств откачки.

В.Шулаев (Харьковский физико-технический институт – ХФТИ) проанализировал прошлое и перспективы применения соединений и структур на основе нитрида титана, которые продолжают оставаться основными среди используемых на практике и наиболее коммерциализированных упрочняющих, эрозионно- и коррозионно-стойких, декоративных пленок и покрытий. Они производятся сотнями компаний и фирм под различными торговыми марками в развитых странах мира. Переход на наноструктурный уровень дал импульс развитию исследований универсальных монослойных (TiCN, TiAlN, AlTiN, CrN) покрытий. В этой связи следует отметить разработанную в НИЦ ХФТИ – "НИТТИН" технологию на основе пульсирующей плазмы. Она позволяет синтезировать сверхтвердые наноструктурные покрытия кубического нитрида титана нестехиометрического состава nc-TiN_{y-1-y} , где

VACUUM TECHNOLOGIES FOR NANOTECHNOLOGY

*S.Nesterov, D.Sc., Prof., Deputy Director General
for Scientific Work of NIIVT after S.A.Vekshinsky /
sbnesterov@niivt.ru*

In the middle of April, 2013, the 8th International Conference "Vacuum Equipment, Materials and Technology" was held in KVTs Sokolniki.

Its motto "Vacuum technologies, cryogenic technologies and nanotechnologies are the three whales, on which the world of high technologies rests" was formulated back in 2005. It is important to point out that the topics of the reports of all the past conferences corresponded to this motto completely, at that, the materials of the recent conference included 59 reports of 153 authors representing 52 organizations from 17 cities [1, 2].

In particular, the article's author analyzed in his report the modern state of the world and domestic vacuum science and technologies. He pointed out, that this direction and nanotechnology could not exist without each other, and the main trend in modern vacuum technologies was development of essentially new oil-free means of pumping.

V.Shulayev (Kharkov Physical-technical Institute – KPTI) analyzed the past and prospects of application of the compounds and structures based on titanium nitride, which continue to remain the basic among the practically used and most commercialized strengthening, erosion- and corrosion-resistant, decorative films and coatings. They are produced by hundreds of companies and firms under various trademarks in the developed countries of the world.



На конференции
On the Conference



nc – нанокристаллическое состояние. Другое перспективное направление – использование наноструктурного нитрида титана в нанокompозитных (nc-TiN/a-Si₃N₄) и нанослоистых (TiN/Ti, TiN/TiAlN, TiN/CrN) покрытиях в качестве составляющих.

Исследование, основанное на активизации высокоскоростного потока газа-предшественника горячей проволокой, представлено И.Юдиным, А.Емельяновым, А.Ребровым (Институт теплофизики им. С.С.Кутателадзе СО РАН). Конструкция проволочного канала позволяет сохранить поток активированных компонент до стадии расширения перед подложкой. Синтез алмазоподобных покрытий проводится при скорости газового потока от сотен метров в секунду (свободномолекулярное течение) до тысяч метров в секунду (континуальное течение) при различных расходах газовой смеси. Покрытия, полученные в вакуумной камере при высоком давлении (2600 Па), содержат зародыши алмаза, а также необычные гексагональные включения. Анализ методом рентгеновской дифракции указывает на наличие в них лонсдейлита.

В.Егоров, Е.Егоров (ИПТМ РАН, Черноголовка) рассмотрели теоретические предпосылки использования резерфордского обратного рассеяния ионов для оценки плотности материала в тонкопленочных покрытиях. Они связаны с включением в выражение для оценки энергетических потерь ионов, определяющее их взаимодействие с электронной подсистемой, дополнительного члена, зависящего от возбуждения плазмонов. Важно отметить, что теоретическая модель проиллюстрирована экспериментальными данными по рассеянию потока ионов He⁺ на тонкопленочной структуре Ag/Si.

В Институте тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова НАН Беларуси проанализированы возможности химических взаимодействий фуллеренов с другими атомами и молекулами. Установлено, что при отжиге двухслойных пленок Cu-C₆₀ при 523–673K образуется фуллерид меди Cu₆C₆₀. Показано, что это вещество обладает сверхпроводящими и высокими эмиссионными свойствами.

Д.Духопельников, Д.Кириллов, В.Рязанов, Ч.В.Наинг (МГТУ им. Н.Э.Баумана) исследовали профили выработки катода дугового испарителя при изменении тока разряда и величины индукции арочного магнитного поля. Получены зависимости ширины дорожки движения катодного пятна от этих параметров. Найдена зависимость ширины дорожки движения катодных пятен и профиля выработки катода вакуумного дугового испарителя.

Р.Чаплинский (Киевский политехнический институт) рассмотрел барьерный высокочастотный (БВЧ) разряд при атмосферном давлении в аргоне.

The transition to a nano-structured level gave an impetus to development of research of the universal monolayer (TiCN, TiAlN, AlTiN, CrN) coatings. In this connection it is necessary to mention NITTIN technology based on pulsing plasma developed in NNTs KPTI. It allows us to synthesize superhard nano-structured coatings of cubic titanium nitride of nonstoichiometric composition nc-TiN_{y-1-y}, where nc – is a nano-crystalline state. Another promising direction is the use of a nano-structured titanium nitride in the nano-composite (nc-TiN/a-Si₃N₄) and nano-laminated (TiN/Ti, TiN/TiAlN, TiN/CrN) coatings as components.

A research based on activation of a high-speed flow of gas preheated by a hot wire was presented by I.Yudin, A.Emelyanov and A.Rebrov (Institute of Thermophysics named after S.S.Kutateladze, SB RAS). The design of a wire channel makes it possible to maintain a stream of the activated components up to the expansion stage in front of a substrate. The synthesis of diamond-like coatings is done at the speed of a gas flow from hundreds m/s (Knudsen flow) up to thousands m/s (continual current) with varied consumption of a gas mix. The coatings obtained in the vacuum chamber under high pressure (2600 Pa) contain diamonds in their first stage, and also unusual hexagonal inclusions. An analysis done by the method of an x-ray diffraction proves the presence of lonsdaleite in them.

V.Egorov and E.Egorov (IPTM RAS, Chernogolovka) discussed theoretical preconditions for the use of Rutherford backscattering of ions for estimation of a material's density in thin-film coatings. They are connected with inclusion in the expression for estimation of the power losses of the ions, which determines their interaction with an electronic subsystem, of an additional member depending on the excitation of plasmons. It is important, that the theoretical model was illustrated by experimental data on dispersion of He⁺ flow of ions on Ag/Si thin-film structure.

Scientists from the Institute of Heat and Mass Exchange named after A.V. Lykov of NAS of Belarus analyzed feasibility of chemical interaction of the fullerenes with other atoms and molecules. They discovered, that in case of annealing of Cu-C₆₀ two-layer films at the temperature of 523 – 673K copper fulleride Cu₆C₆₀ is formed. They proved that this substance has superconducting and high emission properties.

D.Dukhopelnikov, D.Kirillov, V.Ryazanov and Ch.V.Naing (MGTU named after N.E.Bauman) investigated the profiles of working out of the arc evaporator cathode with changing of a discharge current and value of induction of an arch magnetic field. Dependences were obtained of the path width



Представлены результаты моделирования сильно-точного и слаботоочного режимов поддержания БВЧ-разряда атмосферного давления при помощи гибридной модели. Рассчитаны концентрации и энергия электронов, а также ионов Ar^+ , Ar_2^+ . Приведены рассчитанные и измеренные вольт-амперные характеристики разряда. Указаны некоторые перспективные применения БВЧ-разряда при атмосферном давлении.

Н.Сушенцов, С.Степанов (Научно-производственный центр "Поиск-МарГТУ", Йошкар-Ола) рассказали об автоматизированной установке магнетронного распыления. Эта установка предназначена для создания пассивных элементов интегральных микросхем.

Ю.Панфилов (МГТУ им. Н.Э.Баумана) представил программу профессиональной переподготовки специалистов в области термобарьерных наноструктурированных покрытий для газотурбинных двигателей. Им проведен анализ функций инженеров – материаловедов, механиков и метрологов, а также техников по обслуживанию соответствующего оборудования.

А.Войцеховский, С.Несмелов (Томский государственный университет) совместно с Н.Кульчицким и А.Мельниковым (МИРЭА) рассмотрели создание новых детекторов на квантовых точках (КТ) Ge/Si для ИК-диапазона: детекторов на основе p-i-n-структур, биполярных и полевых фототранзисторов. Потенциальные преимущества этих типов детекторов могут использоваться при развитии технологий создания КТ с заданными размерами, формой и плотностью. Эти же авторы проанализировали способы определения внутренней квантовой эффективности светоизлучающих структур на основе квантовых ям InGaN/GaN и рассмотрели их рекомбинационные свойства.

С.Нестеров, А.Холопкин (НИИВТ им. С.А.Векшинского) оценили безразмерную термоэлектрическую (ТЭ) добротность структуры, состоящей из частиц полупроводниковых материалов в классическом приближении. Предполагается, что частицы связаны между собой физическими контактами, диаметр которых меньше, чем частиц. Показано, что ТЭ-добротность за счет туннелирования электронов от частицы к частице через вакуумные зазоры, прилегающие к физическому контакту, может в несколько раз превышать этот параметр для сплошного термоэлектрического материала.

Р.Нежметдинова от коллектива авторов НИИВТ им.С.А.Векшинского, МАТИ им. К.Э.Циолковского, НИИ вирусологии им. Д.И.Ивановского, МГУ имени М.В.Ломоносова привела результаты исследования активности культур клеток на обработанной ионно-плазменным методом и модифицированной углеродными пленками различной толщины

of the cathodic spot movement on these parameters. Dependence was found between the path width of the cathodic spot movement and the profile of working out of the vacuum arc evaporator cathode.

R.Chaplinsky (Kiev Polytechnical Institute) talked about a barrier high-frequency (BHF) discharge in argon at an atmospheric pressure. He presented the results of modeling of high-current and low-current modes of support of a BHF discharge of atmospheric pressure by means of a hybrid model.

Concentrations and energy of electrons, and also of Ar^+ and Ar_2^+ ions were calculated. He also presented the calculated and measured volt-ampere characteristics of the discharge and certain prospects for application of a BHF discharge at an atmospheric pressure.

N.Sushentsov and S.Stepanov (Poisk-MarGTU Research-and-production Centre, Ioshkar Ola) told about an automated installation for a magnetron dispersion. The installation was intended for creation of passive elements of integrated microcircuits.

Yu.Panfilov (MGTU named after N.E.Bauman) presented a program for professional retraining of specialists in the field of thermobarrier nano-structured coatings for the gas-turbine engines. He analyzed the functions of engineers-material-scientists, mechanics and metrologists, and also technicians servicing the corresponding equipment.

A.Voitsekhovskiy and S.Nesmelov (Tomsk State University) jointly with N.Kulchitsky and A.Melnikov (MIREA) discussed development of new Ge/Si detectors on quantum points (QP) for IR range: detectors based on p-i-n structures, bipolar and field-effect phototransistors.

The potential advantages of these types of detectors can be used for elaboration of technologies for development of QP with pre-set sizes, forms and density. The same authors analyzed the ways to determine the internal quantum efficiency of the light-emitting structures on the basis of InGaN/GaN quantum wells and discussed their recombinational properties.

S.Nesterov, A.Holopkin (NIIVT named after S.A.Vekshinsky) estimated dimensionless thermoelectric (TE) good quality of the structure consisting of particles of semi-conductor materials in a classical approach. It was supposed, that the particles were connected among themselves by the physical contacts the diameter of which was less than the particles themselves. They demonstrated that due to tunneling of electrons from a particle to a particle through the vacuum gaps adjoining to the physical contacts TE good quality could exceed several times this parameter for a continuous thermoelectric material.



(10–100 нм) и органическими производными фуллерепа C_{60} с фрагментами индола и хинолина поверхности полиэтилентерефталата. Результаты свидетельствуют о зависимости пролиферативной активности и цитотоксичности клеток от способа обработки и модификации поверхности полимера.

Н.Татарина (МИФИ) предложила объяснение эрозии электродов в вакууме, наблюдаемой при низких напряженностях внешнего поля $\sim 10^5$ В/м. Изменение структуры поверхности электродов происходит после их бомбардировки ионами. Показано, что отрицательные и положительные ионы появляются в вакуумном промежутке вследствие процессов в порах или дефектах типа пор и возникающего таунсендовского разряда.

В.Слепцов (МАТИ) с коллегами из Харьковского национального университета им. В.Н.Каразина исследовал корректирующее ионно-лучевое травление для регулировки с высокой точностью толщины функциональных слоев микроэлектронных изделий. Такой слой на подложке травится сканирующим сфокусированным ионным пучком, локализация и мощность которого соответствуют топографии неоднородности толщины этого слоя. Показана возможность регулировки распределения толщины пленок по поверхности подложек до ± 4 Å и уменьшение ее.

С.Федоров, М.Павлов, А.Окунькова, Й.М.Со (МГТУ СТАНКИН) провели комплексное модифицирование поверхности карбидного инструмента из сплава BK8 и H13A (Sandvik koromant) электронно-лучевым легированием сплавом NbHfTi с последующим нанесением износостойкого покрытия (TiAl)N. Приведены результаты исследования полученного композита на сканирующем электронном микроскопе, данные рентгеноструктурного анализа. Описаны результаты механических испытаний, свидетельствующих о повышении стойкости карбидного инструмента.

А.Белянин, М.Самойлович, П.Пашенко (ЦНИТИ "Техномаш") и В.Борисов, М.Тимофеев (Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В.Скобелыцына МГУ имени М.В.Ломоносова) рассмотрели условия формирования и строения пленок алмазоподобных материалов, используемых при изготовлении слоистых ненакаливаемых катодов. Представлены характеристики используемых в устройствах эмиссионной электроники слоистых структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вакуумная техника, материалы и технология. Материалы VIII Международной научно-технической конференции. / Под ред. д.т.н., проф. С.Б.Нестерова. – М.: НОБЕЛЛА, 2013.
2. www.vacuumtechexpo.com

R.Nezhmetdinova from a collective of authors from NIIVT named after S.A.Vekshinsky, MATI of K.E.Tsiolkovsky, Scientific Research Institute of Virology named after D.I.Ivanovsky, Moscow State University named after M.V.Lomonosov presented the results of research of activity of cultures of the cells on the processed by an ionic-plasma method and modified by carbon films of various thickness (10–100 nanometers) and organic derivatives of fullerene C_{60} with fragments of indole and quinoline in the polyethylene terephthalate surfaces. The results demonstrate dependence of the proliferative activity and cytotoxicity of cells on the method of processing and modification of a polymer surface.

N.Tatarinova (MIFI) explained erosion of electrodes in vacuum observed at a low intensity of the external field $\sim 10^5$ V/m. The structure of an electrode surface changes when bombardment by ions. It was demonstrated that both negative and positive ions appear in a vacuum gap owing to the processes in pores or defects of a type of pores and arising Townsend discharge.

V.Sleptsov (MATI) with his colleagues from Kharkov National University named after V.N.Karazin investigated the correcting ion-beam etching applied for a high-accuracy adjustment of the thickness of the functional layers of microelectronic products.

Such a layer on a substrate is etched with a scanning focused ion beam, the localization and power of which corresponds to the topography of heterogeneity of thickness of this layer. He demonstrated possibility of adjustment of distribution of the film thickness on a surface of substrates up to ± 4 Å and reduction of its roughness.

S.Fedorov, M.Pavlov and A.Okunkova (MGTU STANKIN) undertook a complex modification of the surface of a carbide tool from BK8 and H13A alloy (Sandvik koromant) by an electron beam alloying NbHfTi with a subsequent drawing of a wearproof coating (TiAl)N. They presented the results of the research of the obtained composite done with a scanning electronic microscope, as well as the data of an X-ray structural analysis. They also described the results of the mechanical tests testifying to an increased firmness of the carbide tool.

A.Belyanin, M.Samoylovich, P.Pashchenko (TsNITI Tekhnomash) and V.Borisov and M.Timofeyev (Scientific Research Institute of Nuclear Physics named after D.V.Skobel'tsyn of the Moscow State University named after M.V.Lomonosov) discussed the conditions for formation and structure of the films of diamond-like materials used for manufacture of laminated not heated cathodes. They also presented characteristics of the laminated structures used in the devices of emission electronics.