

Course: “Multicomponent nanostructured coatings. Nanofilms”

The authors: D.V. Shtansky, E.A. Levashov, Ph. Kiryukhantsev-Korneev, M.I. Petrzhik, Yu.S. Pogozev, I.A. Bashkova, E.I. Zamulaeva, K.A. Kuptsov, A.N. Sheveiko

Summary

The course presents a description of two-years educational master program with advanced lectures and practical training related to Nanofilms and Multicomponent Nanostructured Coatings. The program is dedicated to the first year graduate students (master’s course) who specialize in the field of Materials Science and Advanced Technologies of Surface Engineering.

The course consists of a number of lectures about fundamentals and most recent developments in the fields of plasma physics and surface engineering. The educational master program describes the advanced methods of surface modification and deposition of nanofilms and multicomponent nanostructured coatings, the investigation methods of their structure (elemental and phase composition, grain size, texture, morphology, surface topography, structure of the grain boundaries, dislocation structure, etc.) and properties (hardness, Young’s modulus, elastic recovery, friction and wear, impact resistance, electrochemical characteristics) as well as novel characterization technique and standards.

The lectures are accompanied by a large number of seminars which will help the students to obtain the necessary competencies. In addition, practical training in various fields is organized using advanced equipment available at the Scientific-Educational Center of SHS and the Test Laboratory of Functional Surfaces to help students to improve their knowledge and competence in the field of Nanofilms.

Important part of the course is that every student is involved in the real experimental and theoretical research under supervision of senior staff by individual working plan. This work includes the preparation of literature overview, preparation of experimental samples, their characterization and testing, preparation of the final report and oral presentation of the results at the laboratory seminar.

Курс: «Многокомпонентные наноструктурированные покрытия. Нанопленки»

Авторы: Д.В. Штанский, Е.А. Левашов, Ф.В. Кирюханцев-Корнеев, М.И. Петржик, Ю.С. Погожев, И.А. Башкова, Е.И. Замулаева, К.А. Купцов, А.Н. Шейко

Аннотация

Настоящий курс содержит описание двухлетней образовательной программы, состоящей из цикла лекций и практических занятий, по курсу «Многокомпонентные наноструктурированные покрытия. Нанопленки».

Программа предназначена для магистров первого года обучения, специализирующихся в области материаловедения и передовых технологий инженерии поверхности.

Курс включает себя цикл лекций, посвященный фундаментальным основам и последним достижениям в области физики плазмы и инженерии поверхности. Образовательная программа знакомит с современными методами модифицирования поверхности, осаждения нанопленок и многокомпонентных наноструктурированных покрытий, методы анализа их структуры (определение элементного и фазового состава, размера зерен, текстуры, морфологии, топографии поверхности, структуры границ раздела и дислокационной структуры) и свойств (твердости, модуля упругости, упругого восстановления, трения и износа, стойкости к циклическим, ударно динамическим испытаниям, электрохимические свойства), а также оборудование и стандарты.

Лекции сопровождаются семинарскими занятиями, целью которых является помочь студентам получить необходимые знания и компетенции. Дополнительно, чтобы помочь студентам улучшить их знания и компетенции в области нанопленок, будут организованы практические занятия с использованием самого современного оборудования, имеющегося в Научно-учебном центре СВС и Испытательной лаборатории функциональных поверхностей.

Важной составляющей курса является проведение собственных научных исследований по собственному рабочему плану под руководством квалифицированных сотрудников кафедры. Это включает подготовку литературного обзора по теме исследования, подготовка образцов, их исследование и испытания, подготовка заключительного научного отчета и доклада на лабораторном семинаре.

To conclude that the experimental/theoretical master work is successful it is obligatory to publish the results obtained at least in one review journal (international or from the list of Highest Attestation Commission of RF) and present it at one seminar or conference for young scientists.

Course goal

The goal of the course is to provide a basic knowledge and practical training on nanofilms and multicomponent nanostructured coatings to train high-educational personnel for work at the research laboratories and industrial sector to solve various problems in the field of surface engineering and development new technological processes and advanced materials.

Competencies

The course provides students the following competence:

- to get fundamental knowledge, competence and practical skilling in the methods of surface modification and nanostructured coatings deposition;
- to get fundamental knowledge, competence and practical skilling in the methods of coatings characterization and testing;
- to be familiar with practical aspects of novel nanomechanical characterization technique and standards;
- to solve the theoretical and applied problems connected with the development of advanced nanostructured thin films and coatings for mechanical engineering and medicine;
- to treat the experimental results using equipment software and computer programs;
- to work independently with the literature in search of the necessary information

Background

The course assumes that the student has a background in physics, chemistry, and materials science as well as has some basic mathematical skills on the bachelor level.

Course program

The following instruments will be used during the course:

- Lectures
- Practical training

Обязательным условием успешного завершения магистерской программы является опубликование результатов работы по крайней мере в одном международном журнале или журнале из списка ВАК, а также представление результатов исследования на конференции или семинаре для молодых специалистов.

Цель курса

Целью данного курса является формирование у студентов фундаментальных знаний и практических навыков, необходимых для работы в научно-исследовательских организациях, лабораториях и промышленных компаниях, специализирующихся в области разработки новых материалов, процессов и технологий, связанных с инженерией поверхности.

Компетенции

Данный курс позволит студентам получить следующие компетенции:

- фундаментальные знания, компетенции и практические навыки модифицирования поверхности и осаждения наноструктурированных покрытий;
- фундаментальные знания, компетенции и практические навыки изучения структуры и свойств покрытий;
- ознакомиться с практическими аспектами современных методов наномеханического анализа и стандартами;
- научиться решать теоретические и прикладные задачи, связанные с разработкой современных наноструктурированных тонких пленок и покрытий для машиностроения и медицины;
- научиться обрабатывать полученные результаты с помощью программного обеспечения и компьютерных программ;
- научиться независимо работать с литературой с целью поиска необходимой информации.

Требования к начальной подготовке студентов

Подразумевается, что студенты имеют начальную подготовку и знания в области физики, химии, материаловедения и математики на уровне бакалавра.

Содержание курса

При проведении научно-образовательного процесса используются следующие инструменты:

- Лекции;
- Практические занятия;

- Seminars
- Scientific research (literature review, experimental/theoretical work, scientific report, publication, master theses)
- Self-study

Time schedule

Total credit points 3.6 (504 hours)
 Auditorium learning 1.8 (104 hours)
 Lectures 0.6 (40 hours)
 Seminars 0.6 (28 hours)
 Practical training 0.6 (36 hours)
 Scientific research
 Self-study 1.8 (400 hours)

Grading

Auditorium study: 10 %
 Scientific research: 50%
 Self-study: 40%, including:
 Homework – 15%
 Final exam, reports, master thesis: 20%
 Participation in discussions during the seminars:
 5%

Lectures – 0.6 (40 hours)

No.	Title of lecture	Lecturer
1	Electrical gas discharges, as a key processes in the modern coating deposition technologies	Dr. Ph. Kiryukhantsev-Korneev
2	Nanofilms preparation: deposition techniques, surface modification (fundamental aspects)	Dr. Ph. Kiryukhantsev-Korneev
3	Nanofilms: Fundamental Principals, Characterization, Testing, and Application	Prof. D. Shtansky
4	Mechanical characterization of Nanofilms	Dr. M. Petrzhik
5	Friction and wear of coatings	Dr. I. Bashkova
6	Methods of contact and non-contact characterization of surface topography	Dr. Yu. Pogochev

- Семинары;
- Научно-исследовательская работа (работа с литературой и составление автореферата, экспериментальная/теоретическая работа, подготовка научного доклада, написание публикаций и тезисов по магистерской диссертации);
- Самоподготовка.

Расписание

Общее число баллов 3.6 (504 часа)
 Аудиторные занятия 1.8 (104 часа)
 Лекции 0.6 (40 часов)
 Семинары 0.6 (28 часов)
 Практические занятия 0.6 (36 часов)
 Научно-исследовательская работа
 Самоподготовка 1.8 (400 часов)

Нагрузка

Аудиторные занятия – 10%
 Научно-исследовательская работа – 50%
 Самоподготовка – 40%, в том числе:
 - домашняя работа – 15%
 - подготовка к экзаменам, отчетных материалов, дипломной работы – 20%
 - Участие в семинарах – 5%

Лекции – 0.6 (40 часов)

No.	Название лекции	Лектор
1	Электрический газовый разряд как ключевой процесс современных технологий осаждения покрытий	Доцент Ф.В. Кирюханцев-Корнеев
2	Изготовление нанопленок: методы осаждения и модифицирования поверхности (фундаментальные аспекты)	Доцент Ф.В. Кирюханцев-Корнеев
3	Нанопленки: фундаментальные принципы, методы исследования структуры и свойств, применения	Проф. Д.В. Штанский
4	Изучение механических свойств нанопленок	Доцент М.И. Петржик
5	Трение и износ покрытий	н.с. И.А. Башкова
6	Методы контактного и	Доцент Ю.С.

7	Hard tribological Nanofilms with other enhanced characteristics	Prof. D. Shtansky
8	Disperse-strengthened by nanoparticles tribological coatings	Prof. E. Levashov
9	Nanofilms for biological applications	Prof. D. Shtansky
10	Novel nanomechanical characterization technique and standards	Dr. M. Petrzhik

	безконтактного изучения топографии поверхности	Погожев
7	Твердые износостойкие нанопокртытия с другими улучшенными характеристиками	Проф. Д.В. Штанский
8	Трибологические покрытия, упрочненные наночастицами	Проф. Е.А. Левашов
9	Нанопленки для медицины	Проф. Д.В. Штанский
10	Новая техника для наномеханических исследований и стандарты	Доцент М.И. Петржик

Practical trainings – 0.6 (36 hours)

1. Magnetron sputtering and ion implantation assisted magnetron sputtering

Influence of magnetron sputtering parameters on structure and properties of nanostructured coatings. The main features of sputtering of metal, ceramic, and composite SHS targets.

Equipment: Magnetron Sputtering, Ion Implantation Assisted Magnetron Sputtering, and Ion Implantation Units

2. Pulsed electrospark deposition (PED) and chemical reaction assisted PED

Investigation of kinetics of deposition process during the PED. Coating characterization by means of profilometry and optical microscopy.

Equipment: Set of Equipment for Pulsed Electrospark Deposition

3. Nanoindentation

Determination of hardness and Young' modulus of thin films and the near surface layer of bulk materials using nanoindentation.

Equipment: Nanohardness Tester, CSM Instruments, Switzerland

4. Scratch Testing

Evaluation of the adhesive/cohesive strength, scratch resistance, and mechanisms of coating failure during scratch testing.

Equipment: Scratch Tester REVETEST, CSM Instruments, Switzerland

5. Surface Topography

Analysis of surface topography and roughness parameters using optical profilometry.

Equipment: Optical profiling system Veeco WYKO NT1100, USA

Практические занятия – 0.6 (36 часов)

1. Магнетронное распыление (МР) и МР при одновременной ионной имплантации

Влияние параметров магнетронного распыления на структуру и свойства наноструктурированных покрытий. Особенности распыления металлических, керамических и композиционных мишеней.

Оборудование: Установки магнетронного распыления (МР), ионной имплантации и МР при ассистировании ионной имплантацией

2. Импульсное электроискровое осаждение (ИЭО) и химически активированное ИЭО

Исследование кинетики процесса осаждения при ИЭО. Исследование структуры покрытий методами механической и оптической профилометрии.

Оборудование: комплект оборудования для ИЭО.

3. Наноиндентирование

Определение твердости и модуля упругости тонких пленок, а также поверхностных характеристик объемных материалов методом наноиндентирования

Оборудование: Нанотвердомер, CSM Instruments, Швейцария

4. Скратч-тестирование

Определение адгезионной/когезионной прочности, сопротивления царапанью, а также механизма разрушения покрытий при скратч-тестировании.

Оборудование: Скратч-тестер REVETEST, CSM Instruments, Швейцария

5. Топография поверхности

Анализ топографии поверхности и параметров шероховатости методом оптической профилометрии

Оборудование: оптический профилометр Veeco WYKO NT1100, США

6. Friction and Wear

Characterization of tribological properties of nanostructured coatings under different conditions: 1. at room and elevated temperatures; 2. in air and under various solutions.

Equipment: Tribometer, CSM Instruments, Switzerland;
High-temperature Tribometer, CSM Instruments, Switzerland

7. Impact Testing

Impact tests under cyclic load to estimate life time and mechanism of failure of PVD coatings.

Equipment: Impact Tester, CemeCon, Germany

8. Electrochemical testing

Characterization of electrochemical properties of nanostructured coatings

Equipment: Complete System for Electrochemical Research (VoltaLab)

9. Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy

Chemical analysis of thin and thick coatings using radiofrequency glow discharge optical emission spectroscopy

Equipment: PROFILER-2, Horiba Jobin Yvon, France

Seminars – 0.6 (28 hours)

1. Recent deposition technologies for production of nanofilms

Each student makes a short oral presentation about some method of nanofilm deposition

2. Calculation of Hertz (or starting) stresses at elastic mechanical contact for typical indenters and loads

Quantitative description of conditions of mechanical contact will be done using solutions of Hertz task due to variations of geometry of indenters, Poisson ratios and elastic moduli of involved materials.

3. Mechanical characterization of Nanofilms

Short oral presentations prepared by each student. The topics of presentation will be defined by lecturer at the start of each semester. For example, "Application of nanoindentation to control production of thin film".

4. Structural characterization of Nanofilms

During seminar students must demonstrate their knowledge in structural characterization of nanofilms using a standard set of materials. The test materials include XRD patterns, selected area electron diffraction patterns, XPS and Raman spectra, reference tables and books.

5. Friction and wear

Calculation of the worn track section of the sample and the diameter of the wear spot of counterpart material, wear rate of both ball and coating (using optical microscopes, two-dimensional cross-section profile of the wear track and diameter of wear spot of counterpart material,

6. Трение и износ

Изучение трибологических свойств наноструктурированных покрытий при различных условиях: при комнатной температуре, при повышенных температурах, в жидких средах
Оборудование: Трибометр и высокотемпературный трибометр, CSM Instruments, Швейцария

7. Импакт-тестирование (циклические ударно-динамические испытания)

Проведение циклических, ударно-динамических испытаний для определения срока службы и механизма разрушения покрытий.

Оборудование: Импакт-тестер, CemeCon, Германия

8. Электрохимические испытания

Изучение электрохимических свойств наноструктурированных покрытий

Оборудование: установка для проведения коррозионно-электрохимических испытаний, VoltaLab

9. Оптическая эмиссионная спектроскопия тлеющего разряда

Химический и послойный элементный анализ тонких и толстых покрытий методом оптической эмиссионной спектроскопии тлеющего разряда

Оборудование: Оптический эмиссионный спектрометр, PROFILER-2, Horiba Jobin Yvon, Франция

Семинары – 0.6 (28 часов)

1. Современные технологии получения нанопленок
Студенты выступают с устным докладом по одному из методов осаждения нанопленок

2. Расчет напряжений Герца при механическом контакте для определенного типа индентора и величины нагрузки

Количественное описание условий механического контакта на основе решения задачи Герца для различной геометрии индентора, коэффициента Пуассона и модуля упругости различных материалов

3. Механические свойства нанопленок

Студенты выступают с устным докладом по заданной теме. Темы докладов определяются в начале каждого семестра. Например: «Применение метода nanoindentирования для контроля качества тонких пленок»

4. Структурные исследования

Во время семинара студенты демонстрируют свои знания в области структурного анализа нанопленок на основе стандартных материалов, которые включают: рентгеновские спектры, электронограммы, спектры РФС и Раман, справочные таблицы и справочники.

5. Трение и износ

Измерение канавок и пятна износа, расчет скорости износа покрытия и контр-тела с помощью оптической микроскопии, 2D профилей канавок износа, диаметра пятна износа и соответствующих формул.

corresponding formulas).

6. Surface topography

The calculation of amplitude and spacing surface roughness parameters using two-dimensional profiles of different surfaces.

7. Creating and disseminating novel nanomechanical characterization technique and standards

Short oral presentations prepared by each student. The topics of presentation will be defined by lecturer at the start of each semester.

Basic literature

- a) Nanostructured Thin Films and Nanodispersion Strengthened Coatings, NATO Science Series, edited by A.A. Voevodin, D.V. Shtansky, E.A. Levashov, J.J. Moore, Vol. 155, 2004.
- b) Protective Coatings & Thin Films -03. Symposia Proceedings 149, Surface and Coatings Technology, vol. 180-181, 2004, 684 p.p.
- c) K. Holmberg, A. Matthews Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering, Tribology and Interface Engineering Series, № 56, 560pp.
- d) J.A. Williams Wear and wear particles-some fundamentals, Tribology International 38 (2005) 863-870.
- e) Stout K.J. Development of methods for the characterization of roughness in three dimensions. Penton Press. London. 2000.
- f) Pawley J.B. Handbook of Biological Confocal Microscopy (3rd edition). Berlin: Springer. 2006.
- g) Micro-and opto-electronic materials and structures: physics, mechanics, design, reliability, packaging / Ed. by Suhir E. - Berlin: Springer Science+Business Media, Inc. Vol.1. Materials physics - materials mechanics. Vol. II Physical Design - Reliability and Packaging - 2007. - xxx, 725 p. - ISBN: 978-0-387-2794-0....

Supplementary literature

- a) Biomedical Nanostructures, edited by K.E. Gonsalves, C.R. Halberstadt, C.T. Laurencin, L.S. Nair, Wiley-Interscience, 2008.
- b) Metallic Biomaterial Interfaces, edited by J. Breme, R. Thull, C.J. Kirkpatrick, Wiley-VCH, 2008.
- c) Multiscale, Multifunctional and Functionally graded Materials, edited by A. Kawasaki, A. Kumakawa, M. Niino, Trans Tech Publications Ltd., Switzerland, 2010, 537 p.p.
- d) Y.P. Raizer. Gas discharge physics. Springer-Verlag, 1991, 449 p.
- e) A. Fridman, L. Kennedy. Plasma physics and engineering. Taylor& Francis, NY, 2004
- f) D.M. Mattox. The foundations of vacuum coating technology. Noyes Publications, 2003, 151 p.

6. Топография поверхности

Расчет амплитуды и параметров шероховатости поверхности с помощью двумерных профилей различных поверхностей

7. Разработка и использование современно техники для наномеханических измерений и стандарты

Студенты выступают с устным докладом по заданной теме. Темы докладов определяются в начале каждого семестра.

Основная литература

- a) Nanostructured Thin Films and Nanodispersion Strengthened Coatings, NATO Science Series, edited by A.A. Voevodin, D.V. Shtansky, E.A. Levashov, J.J. Moore, Vol. 155, 2004.
- b) Protective Coatings & Thin Films -03. Symposia Proceedings 149, Surface and Coatings Technology, vol. 180-181, 2004, 684 p.p.
- c) K. Holmberg, A. Matthews Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering, Tribology and Interface Engineering Series, № 56, 560pp.
- d) J.A. Williams Wear and wear particles-some fundamentals, Tribology International 38 (2005) 863-870.
- e) Stout K.J. Development of methods for the characterization of roughness in three dimensions. Penton Press. London. 2000.
- f) Pawley J.B. Handbook of Biological Confocal Microscopy (3rd edition). Berlin: Springer. 2006.
- g) Micro-and opto-electronic materials and structures: physics, mechanics, design, reliability, packaging / Ed. by Suhir E. - Berlin: Springer Science+Business Media, Inc. Vol.1. Materials physics - materials mechanics. Vol. II Physical Design - Reliability and Packaging - 2007. - xxx, 725 p. - ISBN: 978-0-387-2794-0....

Вспомогательная литература

- a) Biomedical Nanostructures, edited by K.E. Gonsalves, C.R. Halberstadt, C.T. Laurencin, L.S. Nair, Wiley-Interscience, 2008.
- b) Metallic Biomaterial Interfaces, edited by J. Breme, R. Thull, C.J. Kirkpatrick, Wiley-VCH, 2008.
- c) Multiscale, Multifunctional and Functionally graded Materials, edited by A. Kawasaki, A. Kumakawa, M. Niino, Trans Tech Publications Ltd., Switzerland, 2010, 537 p.p.
- d) Y.P. Raizer. Gas discharge physics. Springer-Verlag, 1991, 449 p.
- e) A. Fridman, L. Kennedy. Plasma physics and engineering. Taylor& Francis, NY, 2004
- f) D.M. Mattox. The foundations of vacuum coating technology. Noyes Publications, 2003, 151 p.

- g) C.H. Bishop. Vacuum deposition onto webs, films, and foils, William Adrew, 2007, 474 p
- h) T. Nelis, R. Payling. Glow discharge optical emission spectroscopy: a practical guide, Royal Society of Chemistry, UK, 2003, 198 p.
- technology. Noyes Publications, 2003, 151 p.
- g) C.H. Bishop. Vacuum deposition onto webs, films, and foils, William Adrew, 2007, 474 p
- h) T. Nelis, R. Payling. Glow discharge optical emission spectroscopy: a practical guide, Royal Society of Chemistry, UK, 2003, 198 p.