

**Типовая программа
повышения квалификации по курсу
«Технология вакуумных тонкопленочных покрытий в оптике»**

№ п/п	Лекционные занятия Наименование раздела, темы	Варианты курсов		Прим.
		«Оператор» 40лк 40 пр., 2 нед.		
		Лк., ч .	Σ, ч	
	Введение	4		Д.А. Котов
	Терминология, первичные определения и понятия о тонких пленках, а также вакуумных методах и средствах их формирования. Применение вакуумных тонкопленочных покрытий в оптике, электронике и дисплейной технике. Факторы определяющие свойства тонких пленок.	2		
	Классификация вакуумных технологических процессов формирования тонкопленочных покрытий (PVD, CVD).	2		
1	Оптические устройства. Основные понятия.	5,5		Т.В. Фролова
	Природа света. Оптические диапазоны. Прохождение света через вещество. Отражение, поглощение, пропускание света веществом. Поляризация света. Явления дифракции и интерференции света.	2		
	Коэффициент преломления вещества и его зависимость от длины волны света. Двойное лучепреломление. Отражение света границей двух материалов. Коэффициент отражения.	2		
	Основные элементы для фокусировки и распространения света в оптических устройствах.	0,5		
	Многослойные интерференционные тонкопленочные структуры в оптических устройствах различного назначения.	1		
2	Основы материаловедения в технологии оптических тонкопленочных покрытий.	2,5		Т.В. Фролова
	Стекло как материал подложек в изделиях оптики. Виды оптических стекол. Подложки из кварца и сапфира. Кремний, германий, сульфиды и селениды как материалы подложек в оптике ИК – диапазона.	1		
	Основные материалы монокристаллических подложек в лазерной технике. Подложки из	0,5		

	полимерных материалов.			
	Пленкообразующие материалы для оптики видимого диапазона. Материалы для тонкопленочных покрытий ультрафиолетового диапазона. Пленочные материалы для покрытий ИК диапазона.	0,5		
	Материалы для формирования электропроводящих прозрачных покрытий. Металлические материалы для формирования зеркальных покрытий.	0,5		
3	Основы вакуумных технологических систем	6		Ю.А. Родионов
	Физические основы вакуума. Вода и водяные пары в вакуумных камерах.	1		
	Средства создания и измерения вакуума. Форвакуумные механические насосы. Загрязнения маслом. Сухие механические насосы. Высоковакуумные насосы. Диффузионные паро-масляные насосы. Турбомолекулярные насосы. Криогенные насосы.	3		
	Измерение вакуума. Датчики. Принципы работы. Достоинства и ограничения.	1		Ю.А. Родионов
	Элементы вакуумной арматуры. Конструкции арматуры и держателей подложек. Методы крепления подложек. Магнитная муфта ввода вращения. Виды перемещений, обеспечивающие равномерный нагрев и обработку подложек.	0,5		
	Процедуры профилактических очисток арматуры и держателей подложек.	0,5		
	Поиск и устранение течей в вакуумных системах.			
	Методы и устройства для нагрева подложек в вакуумной камере. Контроль температуры подложек.			
4	Подготовка поверхности подложек перед нанесением тонкопленочных покрытий	2		Ю.А. Родионов
	Подготовка поверхности подложек перед размещением их в вакуумной камере (предварительная подготовка). Оборудование, технологические приемы и материалы для процессов предварительной подготовки поверхности подложек.	1,5		
	Методы консервации очищенной поверхности на этапе хранения и транспортировки в вакуумную камеру. Правила и инструменты для перемещения подложек из транспортной тары на арматуру и обратно.	0,5		
5	Базовые принципы формирования плазмы и потоков ионов, а также их воздействие на поверхность твердого тела	4		Ю.А. Родионов

	Базовые принципы формирования технологической плазмы	2		
	Механизмы взаимодействия плазмы с поверхностью	1		
	Очистка поверхности подложек ионной бомбардировкой в вакуумной камере непосредственной перед нанесением пленок (in-situ clearing). Очистка в плазме.	0,5		
	Модификация поверхности подложки методами ионной бомбардировки.	0,25		
	Формирование специальных подслоев на поверхности полимерных подложек.	0,25		
6	Нанесение тонких пленок методами термического испарения	4		Д.А. Котов
	Процесс термического испарения в вакууме. Энергетические и пространственные распределения потока испаренного вещества.	1		
	Испарение многокомпонентных материалов и сплавов. Соиспарение из нескольких источников. Испарение с ионным ассистированием. Реактивное испарение.	1		
	Конструкции испарителей. Испарители резистивного нагрева. Электронно-лучевые испарители. Лазерные испарители.	1		
	Влияние температуры подложки, скорости нанесения, давления и состава остаточных газов на свойства покрытий.	1		
7	Нанесение пленок методами ионного распыления	8		Д.А. Котов
	Основные процессы при физическом ионном распылении поверхности твердого тела. Распыляемая мишень – как источник наносимого материала. Энергетические и пространственные распределения потока распыленного материала.	1		
	Закономерности распыления поликристаллических и монокристаллических материалов. Закономерности распыления соединений и сплавов.			
	Катодное распыление. Принцип работы. Технологические параметры. Устройство. Магнетронная распылительная система. Принципы работы. Технологические параметры магнетронных распылительных систем. Оценка эффективности катодных систем нанесения тонких пленок.	1		
	Основные процессы ионно-лучевой обработки. In-situ clearing. Ионно-лучевая очистка. Ионно-лучевое распыление.	1		
	Технологические устройства для реализации процессов ионно-лучевой обработки. Виды газовых разрядов в источниках ионов и плазмы. Основные разновидности ионных источников.	1		

	Ионно-лучевые источники для ассистирования.	2		
	Разновидности компоновок ионно-лучевых процессов. Системы ионно-лучевого распыления с одновременной обработкой поверхности подложек вторым ионным пучком.			
	Реактивное распыление.	1		
	Устройства маскирования для обеспечения нужного профиля распределения толщины покрытия по поверхности подложек.			
	Ионно-лучевая полировка и геометрическое формообразование. Принципы и особенности. Оборудование.			
	Методы контроля скорости нанесения и толщины пленок. Кварцевый контроль. Оптический одноволновой и спектральный контроль.	1		
8	Механизмы конденсации и роста тонких пленок	4		Ю.А. Родионов
	Процессы конденсации материала и роста пленки на подложке. Стадии роста тонких пленок. Модели роста. Условия формирования сплошной пленки.	3		
	Влияние температуры подложки, скорости нанесения, давления и состава остаточных газов на свойства покрытий.	1		
	Остаточные внутренние напряжения сжатия и растяжения. Методы управления остаточными напряжениями.			
	Сквозные проколы в тонких пленках оптического назначения. Причины возникновения и методы преодоления проблемы.			
	Ультрадисперсные частицы в оптических пленках и их влияние на уровень рассеяния. Причины их возникновения в процессах термического испарения и ионного распыления.			
	Итого	40		
9	Практические занятия	40		Д.А. Котов (курирует)
	Освоение навыков практической работы на установках ОРТУС -700 по технологии электроннолучевого испарения с ионным ассистированием (компания Изовак, БГУИР)			
	Предварительное изучение структурной схемы установки ОРТУС-700. Форвакуумный насос, высоковакуумный турбомолекулярный насос, термодатчики и ионизационные датчики вакуума, электронно-лучевой испаритель EVM-8, ассистирующий ионно-лучевой	2		

	источник, система оптического контроля, планетарный механизм.			
	Общее включение. Включение автоматов и ББП, запуск ПК; включение системы охлаждения, запуск ПО); работа вакуумной системы (порядок работы клапанов вакуумной системы, порядок включения НВ- откачки рабочей камеры, порядок включения ВВ-откачки рабочей камеры);порядок газонапуска в рабочую камеру.	2		
	Основные технологические устройства. Электронно-лучевой испаритель компании Ферротек (установка значения высокого напряжения, установка тока эмиссии, выбор тигля, установка пределов по тиглю, установка формы колебаний электронного луча, установка частоты колебаний электронного луча, сохранение установленных параметров); Источник ассистирования «Стрелок-2» компании Изовак. Установка высокого напряжения, установка тока эмиссии. Управление клапанами подачи газа, выбор рабочего газа. Нагрев Задание параметров ПИД- регулятора, включение нагрева. Общее выключение. Остановка ВВ- откачки камеры, включение ПО, выключение ПК, выключение ББП, выключение системы охлаждения, выключение автоматов.	4		
	Изучение полученных образцов оптических элементов методом оптической спектрофотометрии	2		(БГУИР) Комар О.М.
	Изучение полученных образцов оптических элементов методом оптической микроскопии	2		Комар О.М.
	Изучение полученных образцов оптических элементов методом атомно-силовой микроскопии	4		Комар О.М.
	Напыление в автоматическом режиме. Составление рецепта покрытия. Задание основных параметров слоя, выбор оптического свидетеля, выбор кварцевого датчика, использование ИА во время процесса, использование нагрева во время процесса. Калибровка СОК различного типа, установка рабочей длины волны, измерение спектра.	8		
	Отработка навыков нанесения многослойного интерференционного фильтра. Основа: окись циркония - окись кремния. Установка: ОПУС (в условиях компании Изовак).	8		
	Освоение практических навыков работы в программах расчета оптических покрытий Optilayer и Izo_Spectra.	4		
	Измерение и анализ спектров отражения и пропускания покрытий на спектрометрах Invisio-M и Invisio-S компании Изовак.	4		