

**Типовая программа
повышения квалификации
«Технология вакуумных тонкопленочных покрытий в гибридной микроэлектронике»**

№ п/п	Лекционные занятия Наименование раздела, темы	«Технолог» 40лк 40 пр 2 нед.		Прим.
		Лк., ч .	Σ, ч	
	Введение	4		
	Терминология, первичные определения и понятия о тонких пленках, а также вакуумных методах и средствах их формирования. Применение вакуумных тонкопленочных покрытий в микро-, нано- и гибридной электронике. Факторы определяющие свойства тонких пленок.	2		
	Классификация вакуумных технологических процессов формирования тонкопленочных покрытий (PVD, CVD).	2		
	Физико-химические основы материаловедения.			
1	Технология изготовления ГИС	8		
	Назначение и конструкция ГИС. Конструкции элементов ГИС: резисторы, конденсаторы, проводящие соединения, навесные элементы. Особенности топологии и морфологии технологических слоёв ГИС. Плотность упаковки.	2		
	Расчет резисторов, конденсаторов, проводящих соединений. Методы контроля параметров.	2		
	Металлизация. Межсоединения. Формирование проводников и контактов. Основные материалы металлизации: межсоединений; буферного слоя; барьерного и адгезионного слоев; Технологии формирования блока металлизации. Электромиграция, закорачивание, способы борьбы.	1		
	Изоляция. Осаждение и синтез диэлектрических слоёв. Материалы. Технологии формирования блока изоляции.	1		
	Технология изготовления ГИС. Толстопленочные ГИС. Тонкопленочные ГИС: материалы и технология изготовления элементов	1,5		

	Виды подложек в изделиях ГИС. Материалы. Особенности применения.	0,5		
2	Основы вакуумных технологических систем	6		
	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		
	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.			
3	Подготовка поверхности подложек перед нанесением тонкопленочных покрытий	2		
	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		
4	Базовые принципы формирования плазмы и потоков ионов, а также	4		

	их воздействие на поверхность твердого тела			
	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		
5	Нанесение тонких пленок методами термического испарения	3		
	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.	0,5		
	Конструкции испарителей. Испарители резистивного нагрева. Электронно-лучевые испарители. Лазерные испарители.	0,5		
	Влияние температуры подложки, скорости нанесения, давления и состава остаточных газов на свойства покрытий.	1		
6	Нанесение пленок методами ионного распыления	9		
	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.	0,5		
	Катодное распыление. Принцип работы. Технологические параметры. Устройство. Магнетронная распылительная система. Принципы работы. Технологические	2		

	параметры магнетронных распылительных систем. Оценка эффективности катодных систем нанесения тонких пленок.			
	Основные процессы ионно-лучевой обработки. In-situ clearing. Ионно-лучевая очистка. Ионно-лучевое распыление.	0,5		
	Технологические устройства для реализации процессов ионно-лучевой обработки. Виды газовых разрядов в источниках ионов и плазмы. Основные разновидности ионных источников.	1,5		
	Ионно-лучевые источники для ассистирования.	1		
	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.	0,5		
	Ионно-лучевое травление. Принципы и особенности. Оборудование.			
	Методы контроля скорости нанесения и толщины пленок. Кварцевый контроль.	1		
7	Механизмы конденсации и роста тонких пленок	4		
	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 и шипы в тонких пленках. Причины возникновения и методы преодоления проблемы.			
	Неоднородности в структуре функциональных пленок и их влияние на электрофизические характеристики. Причины их возникновения в процессах термического испарения и ионного распыления.			
	Итого (план)	40		

	Итого (факт)			
8	Практические занятия	40		
	Освоение навыков практической работы на установках Элато-350 по технологии магнетронного распыления с ионно-лучевой очисткой (компания Изовак)			
	Предварительное изучение структурной схемы установки Элато-350. Форвакуумный насос, высоковакуумный турбомолекулярный насос, термпарные и ионизационные датчики вакуума, магнетронная распылительная система, ионно-лучевой источник очистки, система контроля, карусель.	2		
	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. Магнетронное распылительное устройство (установка значения высокого напряжения и тока разряда, напуск газа, сохранение установленных параметров);	4		
	Источник очистки «Луч-140» компании Изовак. Установка высокого напряжения.	2		
	Управление клапанами подачи газа, выбор рабочего газа.	2		
	Нагрев Задание параметров ПИД- регулятора, включение нагрева.	2		
	Напыление в автоматическом режиме. Составление рецепта покрытия. Задание основных параметров слоя, выбор кварцевого датчика, использование источника очистки, использование нагрева во время процесса.	8		
	Общее выключение. Остановка ВВ- откачки камеры, включение ПО, выключение ПК, выключение ББП, выключение системы охлаждения, выключение автоматов.	2		
	Отработка навыков нанесения резистивных структур. Установка: Элато-350 (в условиях компании Изовак). *	8		
	Изучение структурной схемы установки Атис. Форвакуумный насос,	4		

	высоковакуумный турбомолекулярный насос, термодарные и ионизационные датчики вакуума, магнетронная распылительная система, ионно-лучевой источник очистки, система контроля, карусель.			
	Проведение экспериментального изучения электрофизических параметров напыленных образцов элементов ГИС.	4		

*Практические занятия могут проводиться на другом виде оборудования.