

Д. ф.-м. н. А. Ю. МИТЯГИН, к. т. н. А. А. АЛТУХОВ,
А. Б. МИТЯГИНА

Россия, г. Фрязино, ИРЭ им. В. А. Котельникова;
г. Москва, ООО «УралАлмазИнвест»
E-mail: alexandr-mityagin@yandex.ru; info@ural-almaz.ru

Дата поступления в редакцию
24.03 2008 г.

Оппонент д. ф.-м. н. М. И. САМОЙЛОВИЧ
(ЦНИТИ «Техномаш», г. Москва)

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ АЛМАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Разработана технология и создан производственный участок отбора и сортировки алмазов по электрофизическим свойствам. Разработаны технологии и оборудование для прецизионной лазерной резки и обработки алмазных материалов.

Алмаз, бесспорно, является одним из перспективных материалов для устройств следующих поколений техники [1]. Его уникальные физические свойства обеспечивают эффективную и стабильную работу микромеханических, оптических и электронных устройств на их основе в критических условиях. Этим объясняется интерес к алмазным материалам и к исследованию процессов их получения и их огромная роль в развитии современной промышленности. По признанию американских экономистов, сделанному в начале 1970-х годов, без использования алмазных материалов промышленный потенциал Соединенных Штатов уменьшился бы вдвое.

Возможность реализации научных идей в конкретных приборах, главным образом, определяется технологическими возможностями. Поэтому разработка технологических задач является приоритетной проблемой научно-технологического приборостроения. Что касается технологии, то это огромный комплекс задач, включающий в себя общие технологические приемы предварительной обработки и контроля материала и специфические технологические приемы, характерные для данного прибора.

Отбор и сортировка

Остановимся на общих технологических приемах и методах контроля основных параметров материала. Для натуральных и искусственных монокристаллов алмаза это, прежде всего, электрофизические свойства.

Хорошо известно, что природные алмазы имеют различный примесный состав и дефектную структуру [2], а выращенные кристаллы нуждаются в анализе их электрофизических свойств. Нами разработана технология и создан производственный участок, на котором отбор и сортировка алмазов по электрофизическим свойствам производится различными физическими методами анализа: фотолюминесценции, поляризационно-оптической микроскопии, УФ-спек-

троскопии, ИК-спектроскопии, катодоллюминесцентной топографии. Разработаны технические требования для отбора и сортировки алмазов. Для повышения надежности используется комплекс различных методов, для которых разработаны технологические инструкции.

Комплексные исследования позволили установить доминирующее влияние примесного азота на оптические и электрофизические свойства алмаза. Наиболее пригодными для создания полупроводниковых структур являются алмазные пластины с пониженным содержанием примесного азота. В пластинах из природного алмаза, перспективных для создания полупроводниковых структур, концентрация азота в *A*-форме должна составлять не более $5 \cdot 10^{19}$ ат/см³. Граница диапазона ультрафиолетового поглощения алмазных пластин должна находиться на длине волны λ от $223,5 \pm 1$ до 280 ± 1 нм. Алмазные пластины, имеющие определенный набор и концентрацию примесных дефектов, а также различную степень неоднородности внутреннего строения, комплектуются в группы, обладающие близкими электрофизическими свойствами. Затем производится сортировка пластин указанными выше методами.

Методика отбора по *фотолюминесценции* основана на том, что пластины, предназначенные для определенных целей, характеризуются люминесценцией соответствующего цвета и интенсивности или полным ее отсутствием при возбуждении источником ультрафиолетового света с максимумом излучения на длине волны 365 нм.

Неоднородность внутреннего строения определяется *поляризационно-оптическим* методом по узорам аномального двупреломления. Такая сортировка производится на микроскопе МБС-10 с поляризационной приставкой в проходящем плоскополяризованном свете, в скрещенных и параллельных николях, при увеличении в 16—32 раза. По узорам аномального двупреломления алмазы делятся на девять групп, перспективных для использования в качестве активных и пассивных элементов микроэлектроники.

Разделение алмазов на группы с определенным набором и концентрацией примесных дефектов в *A*-, *B*₁-, *B*₂-форме производится методом *УФ- и ИК-спектрометрии* в диапазоне $\lambda = 0,2—12,5$ мкм. Сортировка в УФ- и ИК-областях производится на спектрофотометрах СФ-56 и ИКС-40, соответственно.

Определение концентрации азота в *A*-форме (C_A) производится на спектрофотометре СФ-56. Для создания активных элементов полупроводниковых приборов отбирались алмазы с $C_A \leq 3 \cdot 10^{19}$ ат/см³, остальные — для создания иных, в том числе пассивных элементов электроники. Определение концентрации азота в B_1 -, B_2 -форме (C_{B1} , C_{B2}) производится на спектрофотометре ИКС-40 для сортировки алмазов с $C_A \geq 10^{19}$ ат/см³ на группы в зависимости от соотношения концентраций C_{B1} и C_{B2} по ИК-спектрам: $C_{B2} > C_{B1}$ — для изготовления активных элементов электроники, $C_{B1} = C_{B2}$ или $C_{B1} > C_A$ — для изготовления пассивных элементов электроники и других изделий на основе алмаза.

Катодолюминесцентная спектроскопия при температуре жидкого азота и при комнатной температуре производится путем идентификации центров люминесценции для группировки алмазов с близкими электрофизическими параметрами. Далее идет отбор образцов для создания тестовых структур. Отбор проводится на установке «электронная пушка» при ускоряющем поле электронов 40 и 24 кВ, среднем токе электронов 0,007—1 мкА и температуре 295 и 77 К.

Катодолюминесцентная топография проводится при комнатной температуре путем локальной идентификации центров фотолюминесценции для группировки алмазов с близкими электрофизическими параметрами и дальнейшего отбора образцов для создания тестовых структур. Отбор тестовых структур методом катодолюминесцентной топографии проводится на растровом электронном микроскопе с помощью телевизионного монитора в режиме цветной катодолюминесценции в диапазоне длин волн 370—500, 500—625, 625—800 нм.

Ориентация монокристаллов

Для кристаллографической ориентации монокристаллов был создан специализированный рентгеновский дифрактометр РС-УАИ. Разработана программа обработки и управления работой рентгеновского прибора для точной (не более 6 угловых минут) ориентации алмазных материалов.

Лазерная резка

Из известных технологических процессов резки алмазных пластин, таких как механический, термохимический, лазерный, наиболее экономичным представляется последний. Высокие плотности мощности лазерного излучения (10^8 — 10^9 Вт/см² в непрерывном режиме и 10^{16} — 10^{17} Вт/см² в импульсном режиме), существенно превосходящие другие источники энергии, позволяют значительно увеличить производительность обработки. Лазерный луч как источник нагрева при термической обработке материалов имеет свои специфические преимущества, среди которых можно выделить два.

Первое — высокая концентрация подводимой энергии и локальность воздействия позволяют произвести обработку небольшого участка материала без нагрева остального объема и без нарушения его структуры и свойств, что приводит к минимальному ко-

роблению деталей. В результате это дает экономические и технологические преимущества. Кроме того, высокая концентрация подводимой энергии позволяет провести нагрев и охлаждение обрабатываемого объема материала с большой скоростью при очень малом времени воздействия. В результате открывается возможность получения уникальной структуры и свойств обработанной поверхности.

Второе преимущество — высокая технологичность лазерного луча, которая позволяет регулировать параметры обработки в очень широком интервале, обеспечивает легкость автоматизации процесса, возможность обработки на воздухе; отсутствие механического воздействия на обрабатываемый материал; отсутствие вредных отходов; возможность транспортировки излучения. Все это позволяет производить прецизионную резку алмазных материалов и создавать сложные конфигурированные алмазные компоненты [3].

Нами опробован и отработан процесс лазерной резки, т. е. получения изделий из природного алмазного сырья методом испарения материала из твердой фазы излучением твердотельного лазера, работающего в непрерывном режиме, которое может быть модулировано электрооптическим затвором в диапазоне частот от 1 до 50000 Гц.

Технологическая лабораторная установка ЛАЗЕР-КПУ для размерной обработки алмазных пластин (рис. 1) построена на базе лазера ЛТН-401 с длиной волны излучения активного элемента YAG:Nd лазера $\lambda = 1,02$ мкм. На жестком каркасе массивной станины располагается опорная часть оптической скамьи типа ОСК-2, на которой смонтированы квантрон режущего лазера ЛТН-401; лазер, задающий опорный

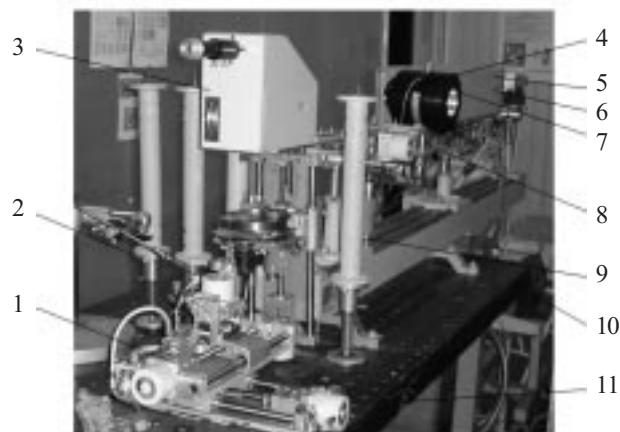


Рис. 1. Лабораторная технологическая лазерная установка размерной обработки твердых материалов:

1 — трехкоординатный предметный стол; 2 — капиллярная трубка и сопло подачи охлаждающего защитного газа; 3 — оптическая система фокусировки и совмещения когерентного излучения; 4 — измеритель мощности ИМО-1; 5 — гелий-неоновый «опорный» лазер ЛГН-208А; 6 — механизм крепления и перемещений опорного лазера ЛГН-208А; 7 — твердотельный лазер ЛТН-401; 8 — механизм крепления и перемещений лазера ЛТН-401; 9 — оптическая скамья — станина квантового генератора; 10 — измеритель мощности; 11 — система оборотного водоснабжения и охлаждения квантрона, резонатора и лампы накачки твердотельного лазера.

луч (гелий-неоновый типа ЛГИ-206) с длиной волны излучения $\lambda=0,63$ мкм; СОК-1 — комбинированная оптическая система, поворачивающая опорный и режущий лучи на 90° из горизонтальной плоскости в вертикальную, а также фокусирующая когерентное излучение в пятно диаметром порядка 50 мкм (сфокусированные лучи опорного и режущего лазеров собираются в одну точку на горизонтальной плоскости предметного стола). Предметный стол в виде специальной оправки крепится на держателях исполнительного трехкоординатного механизма прецизионного координатно-перемещающего устройства (КПУ). Собственно КПУ оснащено четырьмя шаговыми двигателями ДШИ-200-1 и ДШИ-200-2, обеспечивающими перемещения посредством винтовых безлюфтовых пар с разрезными гайками по горизонтальным координатам с дискретностью 2 мкм за 1 шаг и 4 мкм за 1 шаг — по вертикальной координате. При этом имеется возможность перемещать по вертикали как предметный стол при неподвижном выходном объективе, так и наоборот — при неподвижном столе перемещать объектив фокусирующей системы.

Охлаждение лампы накачки, активного элемента и резонаторного блока лазера осуществляется центробежным насосом от бака замкнутой оборотной системы охлаждения раствором хромпика в дистиллированной воде, которая имеет свой внешний проточный охлаждающий контур.

Питание газоразрядной лампы накачки лазера подается от высоковольтного блока, который объединен с электропитанием насоса охлаждающей системы, чтобы предотвратить несанкционированное включение лазера, т. е. до включения подачи охлаждающей жидкости он заблокирован.

В состав технологической установки входит также блок синхронизации и управления лазером, при помощи которого включается или выключается электрооптический затвор излучателя и задается необходимая частота прерывания, которая определяет излучаемую мощность. Средняя мощность излучения лазера в квазинепрерывном режиме может быть оценена при помощи измерителя мощности ИМО-1 и стрелочного ваттметра EPM 300 фирмы COHERENT. Исполнительный механизм КПУ приводится в действие от блока согласования управления двигателями по программе, заложенной в памяти персонального компьютера (PENTIUM-2).

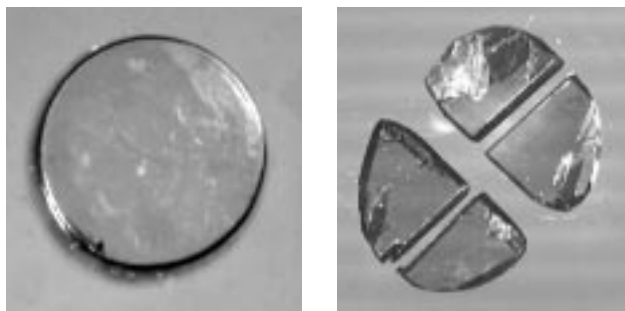


Рис. 2. Алмазные пластины до и после лазерной резки и конфигурирования

Контур размерной обработки получают в программе CorelDRAW, где можно нарисовать требуемые контуры объекта и задать его истинные размеры.

Комплекс данного оборудования позволяет получать структуры с шириной реза от 30 мкм с точностью 3—5 мкм (рис. 2).

На рис. 3 представлены возможные варианты конструкции элементов датчиков ускорений на основе алмазных пластин толщиной 0,2—0,3 мм, которые получены в результате лазерной резки по заданному контуру.

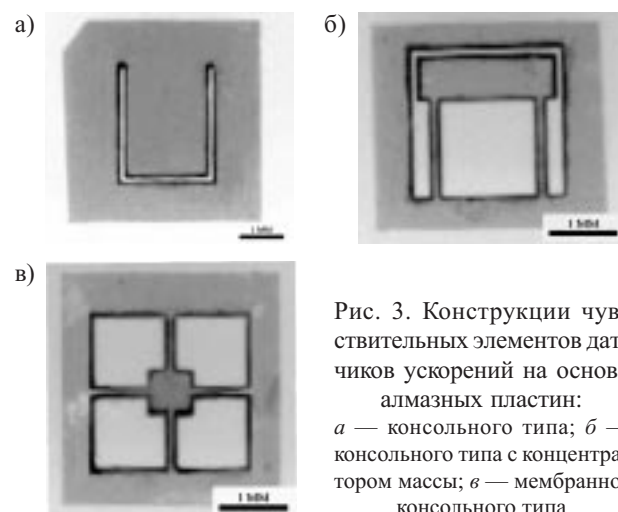


Рис. 3. Конструкции чувствительных элементов датчиков ускорений на основе алмазных пластин:
а — консольного типа; б — консольного типа с концентратором массы; в — мембранно-консольного типа

В процессе резки алмаза лазерным лучом под воздействием высокой температуры образуется «спек», в котором прочно связаны частицы алмаза, графита и, возможно, металлов, если рез производится по металлическому шаблону. Поверхность реза имеет темную окраску и является проводящей. Важной промежуточной задачей при отработке технологических приемов создания алмазных элементов стало исследование возможности удаления графитизированного слоя. Разработана технология его удаления, которая обеспечивает эффективное просветление образцов. Сопротивление лазерного реза составляло свыше 40 МОм, а максимальное уменьшение веса менее 5%.

Термохимический способ обработки

Суть термохимического способа обработки алмаза [4] заключается в растворении алмаза металлами переходной группы или сплавами этих металлов при температуре выше 600°C . На обрабатываемую поверхность алмаза кладется кусочек фольги никеля, железа, платины или их сплавов. При нагревании алмаза в атмосфере водорода фольга начинает погружаться в алмаз, происходит каталитическое гидрирование углерода алмаза по схеме:

алмаз — раствор углерода в металле — газ (CH_4).

При указанной температуре обработки алмаз не реагирует непосредственно с водородом, но последний хорошо реагирует с растворенным в металле углеродом алмаза, образуя метан. Это обеспечивает сохранность кристалла алмаза в не подлежащих обработке участках, а также непрерывную регенерацию алмазообрабатывающего металла. Таким спо-

собою из алмаза можно вырезать изделия или проделывать в нем отверстия сложных трафаретных форм. Например, для демонстрации возможностей в объеме алмаза была вырезана шестеренка диаметром около 2,5 мм на глубину 0,8 мм. Если вместо фольги на алмаз нанести тонкие металлические линии, то можно гравировать алмаз, наносить на кристалл знаки, рисунки, вензеля и т. д.

При обработке алмаза неподвижным относительно него металлическим инструментом обработанная поверхность кристалла принимает рельеф поверхности металла. Для поддержания направления инструмента при изготовлении глубоких отверстий в алмазе используется составной инструмент [5]. Этот инструмент с жаростойкой несущей частью значительно расширил технологические возможности термохимического способа. Для полирования и расширения числа операций обработки, а также для повышения скорости процесса, алмаз обрабатывали движущимся относительно обрабатываемой поверхности инструментом [5, 6].

Качественно новые результаты достигнуты в шлифовании алмаза. При традиционном механическом способе шлифования удаление массы алмаза происходит за счет механического соударения с частицами абразива при быстром вращении алмазного диска. При термохимическом способе алмаз контактирует при минимальной нагрузке с медленно вращающимся нагретым диском [6]. Удаление массы алмаза происходит за счет растворения углерода алмаза металлическим диском. Все это позволяет получать при применении термохимического способа шлифования высокую чистоту обработанной поверхности.

Для повышения производительности установки для термохимического травления алмазов (рис. 4) можно увеличить диаметр диска и снабдить установку несколькими окнами для кристаллодержателей, т. е. производить одновременно шлифование нескольких образцов. Интенсивной регенерации (обезуглероживания) диска можно достичь, снабдив установку дополнительной полостью. Кожух наполняется (продувается) восстановительным газом I (например водородом, смесями). В процессе обработки в полость подается газ II (воздух, кислород, CO, водя-



Рис. 4. Установка термохимической обработки алмазов

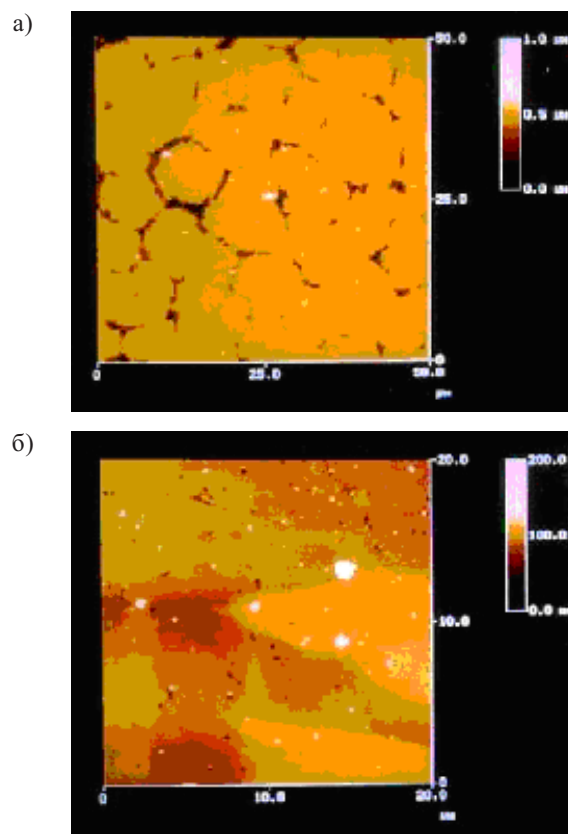


Рис. 5. Изображение поверхности до (а) и после (б) термохимической полировки

ной пар и другие, интенсивно обезуглероживающие диск). Состав и количество газа II выбирается таким образом, чтобы он не подавлял защитные свойства газа I и не было бы травления алмаза в необрабатываемых местах.

Таким образом, термохимическое травление может рассматриваться как наиболее удобный способ создания поверхностей с высокой степенью полировки (рис. 5).

Следует отметить, что одним из основных недостатков термохимических методов является низкая скорость обработки. Поиск путей повышения скорости термохимического шлифования привел к обработке алмаза расплавами металлов [7, 8]. Основная трудность обработки (шлифования) расплавами заключается в получении желаемых форм и размеров алмазных изделий. Если способы скоростного шлифования расплавами металлов до конца не разработаны, то скоростное распиливание алмазов эвтектическим расплавом Fe–C уже применяется нами на практике.

Термохимический способ резки алмаза

При термохимическом способе распиливания алмаза происходит локальное растворение атомов углерода в металле (сплаве), способном растворять значительное количество углерода (до 3—5%). В дальнейшем раствор углерода в металле (сплаве) удаляют, и в зону растворения алмаза транспортируют новые порции металла, не содержащего углерод. Технологически это выполняется следующим образом.

Проволока из тугоплавкого материала (молибдена, вольфрама) покрывается слоем рабочего металла или сплава (железом, кобальтом, никелем и др.). Распиливаемый кристалл нагревают до температуры эвтектики рабочего металла и прижимают к проволоке. В месте контакта металл растворяет углерод, образуется жидкий раствор углерода в металле — эвтектика. Затем проволока приводится в движение относительно кристалла. Происходит непрерывное удаление расплава металл–углерод из зоны обработки с одновременной транспортировкой к месту распиливания чистого («ненауглеродженного») металла. Для того чтобы в алмазе сделать запил, обрабатываемый кристалл перемещают вдоль режущей проволоки. Возможен обратный вариант, когда перемещают проволоку относительно неподвижного алмаза.

Была создана установка для термохимической резки алмаза. Экспериментальные испытания показали следующее:

- максимальная производительность термохимического способа распиливания может составлять до 3 мм/мин, что примерно в десять раз выше, чем механического;

- термохимическим способом можно производить распиливание по любому кристаллографическому направлению, в то время как механически это возможно только по «мягким» направлениям;

- термохимическим способом можно выполнять одновременно несколько параллельных разрезов на одном кристалле.

Все вышеуказанные операции можно выполнять и с помощью лазера, но преимущество термохимического способа распиливания заключается в его дешевизне.

Плазмохимическая обработка алмазных пластин

Плазмохимическая обработка алмазных пластин позволяет проводить анизотропное травление материалов, т. е. получать профили с вертикальными стенками, обеспечивает возможность селективного травления. Размеры элементов, которые получают плазмохимическим травлением, могут составлять сотые доли микрометра [9]. Установки, в которых для травления материалов используется газоразрядная плазма, получили название плазмохимических реакторов и характеризуются следующим: разряд в них возбуждается и поддерживается с помощью высокочастотных (ВЧ) полей в диапазоне частот $f=1\text{—}100$ МГц и сверхвысокочастотных (СВЧ) или микроволновых полей при $f=2,45$ ГГц; при низких давлениях (1 Па) применяют постоянные магнитные поля для изоляции плазмы от стенок реактора и уменьшения потерь заряженных частиц, а также для нагревания электронов плазмы электронным циклотронным резонансом или для возбуждения затухающих волн в плазме под действием внешних ВЧ- или СВЧ-полей; объем плазмы $V \geq 10^4$ см³; электрод, на котором находится подложка (монокристалл кремния диаметром до 30 см, арсенида галлия диаметром до 15 см и т. д.), имеет диаметр примерно на 30% больший, чем диаметр обрабатываемого кристалла; разряды в галогенсодержащих газовых смесях химически активны — для

травления микроструктур применяют газы CF₄, CHF₃, CBrF₃, CCl₄ и др., в которых образуются атомарные и молекулярные радикалы F, Cl, CF₂, CCl_x ($x=1\text{—}3$), легко вступающие в химические реакции со многими материалами при комнатной температуре. К особенностям разрядов низкого давления относятся быстрый равномерный ввод энергии в газовый объем, а также возможность создавать разные типы неравновесности, поскольку энерговклад во внутреннюю степень свободы частиц можно осуществлять в некоторой степени селективно, а на эффективность отвода разных частиц из объема можно влиять, подбирая разные покрытия стенок реактора. В разряд вкладывается сравнительно небольшая мощность (0,1—1 кВт). Все реакторы являются проточными, расход газа составляет величину 10—100 см³/мин.

Создан экспериментальный прибор для плазмохимического травления алмазных материалов — металлический реактор с возбуждением ВЧ-разряда в магнитном поле при давлении $10^{-4}\text{—}10^{-2}$ торр. При травлении концентрация плазмы составляла $10^{11}\text{—}10^{12}$ см⁻³, энергия бомбардирующих ионов 10—100 эВ, плотность мощности 0,1—3 Вт/см². Алмазная пластина размещается на ВЧ-электроде диаметром 20—40 см. Для отдельного управления концентрацией плазмы и энергией ионов в слое у поверхности пластины используется комбинация самостоятельного и несамостоятельного разрядов, которые поддерживаются посредством двух генераторов мощности. С помощью самостоятельного разряда создается плазма с концентрацией, зависящей от вкладываемой мощности. С помощью несамостоятельного емкостного ВЧ-разряда происходит ускорение ионов в приэлектродном слое. При этом набираемая ионами энергия определяется мощностью, вкладываемой в несамостоятельный разряд.

Эксперименты по плазмохимическому травлению алмазных пластин подтвердили высокую эффективность метода. Скорость травления алмаза в плазме SF₆ от ВЧ-мощности смещения составляла от 20 до 200 нм/мин.

Методика измерения шероховатости поверхности обработанных пластин

Нами разработана методика измерения шероховатости поверхности обработанных пластин, а также технологические инструкции по контролю параметров шероховатости и по сортировке обработанных пластин методом оптической микроскопии.

Шероховатость поверхности измерялась при помощи установки фирмы TINCOR INSTRUMENT Alpha-Step 200 с точностью до 200 Å. В ее состав входят компьютер и принтер, позволяющие получать графические изображения и посчитанные параметры шероховатости просканированной поверхности. Alpha-Step 200 предусматривает анализ четырех важных характеристик поверхности: средней высоты профиля, наибольшей высоты неровностей профиля, среднеарифметической неровности, площади поперечного сечения профиля.

В процессе отработки методики замера шероховатости был выбран оптимальный режим. Алмазная

пластина представляется многоугольником. На каждой стороне многоугольника произвольно выбираются четыре реперные точки и реперная точка в центре многоугольника. Сканирование следует проводить на обеих сторонах пластины вдоль линий, соединяющих каждую из реперных точек сторон многоугольника с точкой в центре.

Заключение

Результаты технологических исследований, создание и освоение стандов для анализа и сортировки алмазного материала, создание и освоение экспериментального технологического оборудования — все это позволяет сделать вывод об успешном освоении оригинальной технологии обработки алмазных материалов для создания на их базе оригинальных и перспективных приборов электронной техники.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Altukhov A. A., Afanasiev M. S., Kvaskov V. B. et al. Application of diamond in high technology // *Inorganic Materials*.— 2004.— Vol. 40, Supp 1. 1.— P. S50—S70.

2. Природные алмазы России / Под ред. В. Б. Кваскова.— М.: Полярон, 1997.

3. Retyukhin G. E., Astapchik S. A. Cutting of super-hard materials with quasi-continuous YAG : Nd laser // *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus*.— Minsk.— 2002.— N 3.— P. 47—50.

4. Шамаев П. П., Григорьева А. С., Ботвин В. В. О термодинамических методах обработки алмазов с новых позиций // *Наука и техника в Якутии*.— 2002.— № 1.— С. 27—29.

5. А. с. 1056531 СССР. Инструмент для обработки алмаза / А. П. Григорьев, С. Х. Лифшиц, П. П. Шамаев.— 1983.

6. А. с. 1385403 СССР. Установка для обработки алмаза / А. П. Григорьев, В. В. Тарасов, П. П. Шамаев и др.— 1987.

7. А. с. 1365557 СССР. Способ обработки алмаза / А. П. Григорьев, В. В. Ковальский, В. В. Ботвин и др.— 1987.

8. Пат. 2125934 РФ. Способ обработки алмаза / С. Х. Лифшиц, П. П. Шамаев, А. П. Григорьев и др.— 1999.

9. Weima J. A., Job R., Fahrner W. R., Kosaca G. C. Surface analysis of ultraprecise polished chemical vapor deposited diamond films using spectroscopic and microscopic techniques.— Germany, Hagen: University of Hagen, 2000.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ



Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием.— М.: Горячая линия — Телеком, 2009.— 608 с.

Книга содержит систематическое изложение основных вопросов современной теории и практики промышленной и лабораторной автоматизации. Представлены только самые необходимые для практики сведения с акцентом на детальный анализ наиболее сложных и часто неправильно понимаемых вопросов. Рассмотрены широко распространенные в России промышленные интерфейсы и сети, архитектура систем автоматизации и методы их защиты от помех, тонкие нюансы техники автоматизированных измерений, ПИД-регуляторы с автоматической настройкой и адаптацией, структура и характеристики управляющих контроллеров, современные методы резервирования, средства программирования контроллеров, SCADA-пакеты и OPC серверы, юридические вопросы внедрения средств автоматизации, в том числе на опасных промышленных объектах. Для специалистов по промышленной автоматизации, а также инженеров и научных работников, которые хотят автоматизировать свою работу с помощью компьютера. Может быть полезна студентам старших курсов технических университетов.

НОВЫЕ КНИГИ



Фрунзе А. В. Микроконтроллеры? Это же просто! Том 4.— М.: Додека, 2008.— 464 с.

В четвертом томе книги «Микроконтроллеры? Это же просто!» излагаются базовые понятия двоичной арифметики с плавающей точкой — основы математического обеспечения работы современных микроконтроллеров. Особое внимание уделено использованию арифметики с плавающей точкой в программах вычисления элементарных функций. Приведены примеры аппаратной и программной реализации ряда полезных устройств и приборов. Их изучение поможет глубже понять функциональные возможности и типовые приемы программирования микроконтроллеров.

На прилагаемом компакт-диске помещены тексты всех приведенных программ, а также справочная информация по электронным компонентам, схемам и протоколам, о которых идет речь в книге.

Для студентов технических вузов и широкого круга радиолюбителей, делающих первые шаги в освоении микроконтроллеров.