УДК 679.8, 679.9

Антонова Ирина Игоревна
студент кафедра ТХОМ
Московский государственный горный университет

Гладченков Евгений Вадимович
к.т.н.
НПП «Микроприбор»

ИСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ АЛМАЗА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИННОВАЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

RESEARCHES TECHNOLOGICAL PROCESSES OF FORMATION OF DIAMOND SURFACES FOR THE PRODUCTION OF INNOVATIVE PRODUCTS

Алмаз это материал, который обладает уникальными свойствами. Каждый атом углерода в структуре алмаза расположен в центре тетраэдра, вершинами которого служат четыре ближайших атома. Именно прочная связь атомов углерода объясняет высокую твёрдость алмаза. Алмаз обладает наиболее высокой теплопроводностью среди всех твёрдых тел 900—2300 Вт/(м·К). Алмаз является диэлектриком. У алмаза очень низкий коэффициент трения по металлу на воздухе — всего 0,1, что связано с образованием на поверхности кристалла тонких плёнок адсорбированного газа, играющих роль своеобразной смазки. Когда такие плёнки не образуются, коэффициент трения возрастает и достигает 0,5—0,55. Высокая твёрдость обусловливает исключительную износостойкость алмаза на истирание. обладает самой высокой из твердых тел теплопроводностью (в 5 раз выше меди) и химической инертностью. Кроме того, он оптически прозрачен от инфракрасной части до глубокой ультрафиолетовой (УФ) области спектра [1]. Все это при радиационной стойкости одной из самой высокой для полупроводников (в 100 раз выше кремния) и сохранении высоких рабочих напряжений (до нескольких киловольт) [2].

По совокупности параметров алмаз превосходит широко используемые материалы микроэлектроники, такие как кремний и арсенид галлия. Перспективность применения алмаза в квантовой микроэлектронике определяется его сверхвысокой теплопроводностью. По сравнению с лазерными матрицами традиционных материалов, в случае использования алмаза следует ожидать более высокой мощности оптической накачки, допустимой температуры рабочего элемента и частоты повторения в импульсном режиме.

Создание трёхмерных конфигураций открывает перспективы для производства новых видов изделий, в которых кристалл алмаза может стать единой основой для различных видов приборов, созданных на каждой поверхности кристалла.

Получение форм, описываемых уравнениями второго и третьего порядка

(сферы, конуса, параболические формы) может найти применение в науке, микроэлектронике, алмазной оптике, а также при создании оригинальных форм огранки и изделий в ювелирной промышленности и при изготовлении медицинского инструмента. Однако, оптимистические прогнозы по поводу создания высокотемпературных, высокочастотных, радиационностойких и мощных полупроводниковых приборов на основе алмаза пока не оправдались. Неимоверные усилия исследователей и технологов в этом направлении не привели к изготовлению промышленных изделий. Имеются лишь отдельные сообщения о получении лабораторных образцов с использованием кристаллов алмаза. Одной из причин подобного развития событий, по всей видимости, может являться химическая стойкость алмаза и его удивительная механическая твердость, наивысшая из всех известных кристаллов. Это создает значительные трудности при создании различных приборов на алмазе в ориентации (111), например, при изготовлении алмазных подложек для планарных технологий. Очевидно, что решение указанных проблем в первую очередь связано с достижениями в области создания новых эффективных способов обработки кристаллов алмаза. Параметры обработанной поверхности должны удовлетворять требованиям современных технологий. Это должно обеспечить дальнейший прогресс в области разработки и создания новых приборов микроэлектроники. [3]

Большинство современных методов обработки алмаза позволяют с легкостью получать плоские поверхности и их комбинации с соблюдением требуемой точности, однако получение криволинейных поверхностей затруднено. Существуют методы обработки, которые позволяют получать криволинейные поверхности (например, лазерная обработка), но поверхности, получаемые с помощью таких методов, не соответствуют требуемым параметрам точности и качеству полировкти.

Наиболее распространённые методы обработки алмаза, использующие механическое, химическое или тепловое воздействие или их комбинации, включают: механическую обработку, химико-механическую обработку, термохимическую обработку, обработку высоким энергетическим лучом (луч лазера/плазмы/иона), и электрическую механическую обработку разгрузки (EDM). [4] Механический, химико-механический, термохимический и метод динамического полирования трением - контактные методы, которые обычно используются для обработки плоских поверхностей. Данные методы позволяют получить поверхности заданной чистоты и точности, но

необходимый результат достигается в несколько этапов. Плазменный метод, ионного пучка, лазерный и метод электроэрозионной обработки являются бесконтактными, и они могут быть легко использованы для объемных поверхностей, но получение требуемых параметров точности и чистоты поверхности существенно затруднено.

Волновой метод обработки позволяет получать криволинейные поверхности с соблюдением требуемой точности и чистоты поверхности. Отличительной особенностью нового способа обработки алмазной поверхности от традиционно используемой технологии обработки алмаза в бриллианты является отсутствие условий для образования микросколов. В результате такого воздействия на алмаз шероховатость обработанной поверхности может составлять десятые доли нанометра.

Суть способа можно описать следующим образом: создание в кристалле алмаза при его обработке системы когерентных бегущих упругих волн.

Обрабатывающий инструмент вращается и перемещается по определённому алгоритму. При механическом воздействии зёрен абразива на обрабатываемую алмазную поверхность в алмазе возникают гармонические акустические колебания кристаллической решётки, и создаётся определённая система упругих волн.[5]

Благодаря уникальным результатам, достигнутым в ходе экспериментов по обработке алмазного сырья квантово-волновым методом, стало возможным введение новых объемных элементов дизайна в процесс обработки алмаза. Для того, что бы понять суть процесса формирования объемных элементов и их комбинации на поверхности кристалла, рассмотрим кинематическую схему станка с ЧПУ.

Станок с ЧПУ обладает пятью степенями свободы, расположенными в осях позиционирования объекта (заготовки) X,Y,Z, θ и φ (рис.1). Оси X,Y – отвечают за продольное перемещение заготовки относительно обрабатывающего диска (ОД). Ось Z – отвечает за обеспечение подачи инструмента ОД относительно заготовки. Ось φ (фи) – является осью вращения, она позволяет перемещать заготовку вокруг своей оси по часовой и против часовой стрелки. Ось θ (тэта) – позволяет выставлять угол наклона заготовки относительно инструмента ОД. Степени свободы позволяют манипулировать алмазной заготовкой и базировать её по нужным координатам в соответствии с техническим заданием относительно ОД станка и обеспечивать равномерный износ ОД.

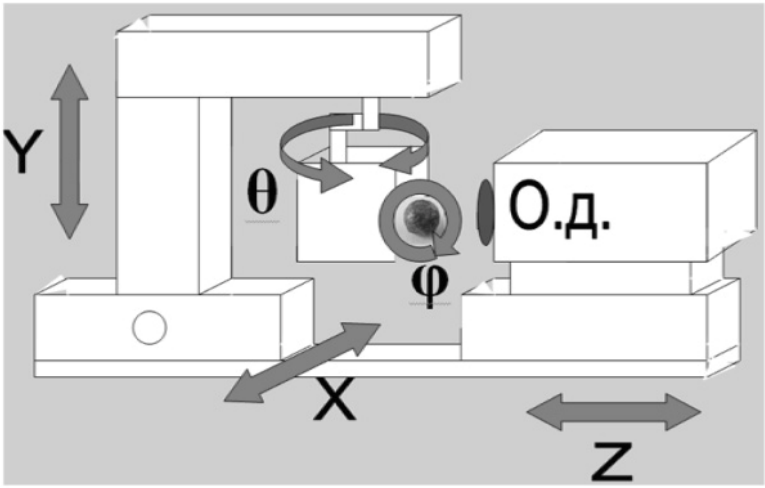


Рис. 1. Кинематическая схема станка с ЧПУ
(О.д. – обрабатывающий диск).

Степени свободы X,Y,Z,θ,φ приводятся в движение шаговыми двигателями (ШД), которые управляются компьютерной программой. Программа позволяет задавать параметры – скорость перемещения объекта, количество шагов ШД, последовательность включения/выключения ШД в работу. В зависимости от комбинаций включения в работу, скорости перемещения и количества шагов, задаваемых оператором станка с помощью программного обеспечения, реализуется возможность формирования на поверхности алмазной заготовки, объемных поверхностей второго порядка. Таким образом, реализуется возможность создания новых элементов дизайна обработки алмаза.

Под понятием «элемент дизайна» обработки, понимается определенным образом полированная (обработанная) поверхность алмаза с заданными параметрами (размер, форма), учитывающая первоначальную (природную) форму исходного кристалла. Элемент может быть поверхностью, определенной геометрическими формами: плоскостью, параболой, конусом, полусферой, сферой, а так же различными комбинациями перечисленных поверхностей (рис.2). Формирование таких элементов и их комбинаций по законам композиции в процессе обработки, возможно создать характерную картину на поверхности алмаза повышающую декоративную привлекательность алмаза. Рассмотрим элементы подробнее на некоторых примерах.

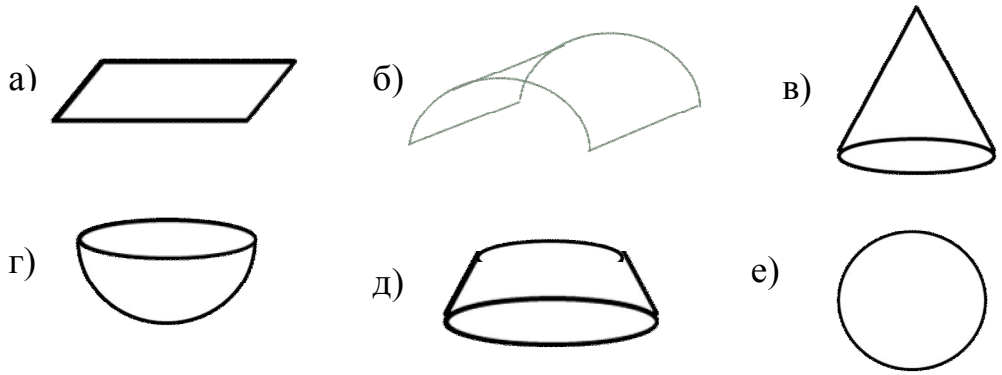


Рис. 2 Схематичное изображение элементов дизайна обработки:
а) плоскость, б) парабола, в) конус, г) полусфера, д) усеченный конус, е) сфера.

Плоскость - простейший элемент, дающий максимальное отражение света от обработанной поверхности. Для создания этого элемента нам необходимо базировать обрабатываемую поверхность параллельно обрабатывающему диску (ОД) используя при этом оси θ и φ для выставления нужного угла и подачу Z. Для равномерного формирования данного элемента и износа ОД, необходимо использовать одну из предложенных степеней свободы либо их комбинацию при обработке кристалла, перемещение заготовки по оси X или Y.

Параболическая поверхность: для формирования этого элемента необходимо определить начальную и конечную точку элемента, которая задает обрабатываемую область. Как правило, она определяется исходя из задумки дизайнера, обрабатываемой поверхности кристалла и её характеристик. После определения начальной и конечной точки области обработки, в программе задается скорость двигателя и количества шагов оси θ, определяемых начальной и конечной точкой элемента. Скорость зависит от размера обрабатываемой поверхности и предъявляемых требований к полировке этой поверхности – это определяется индивидуально в процессе обработки конкретного кристалла. При формировании качественно полированной поверхности с большими размерами элемента параболической формы, скорость шагов двигателя рекомендуется уменьшить, а время воздействия на заготовку увеличить. Для формирования элемента и равномерного износа ОД, необходимо совмещать перемещение заготовки по оси θ с одной из осей, X или Y, либо их комбинацией. При включении в программу работы станка оси φ элемент параболической формы возможно развернуть на заданное значение, исходя из количества задаваемых шагов ШД соответствующей оси.

Полированный параболический элемент даёт характерное отражение света на обработанной поверхности и оптическое искажение при

наблюдении внутренней структуры кристалла в чистых зонах, что влияет на прохождение света внутри кристалла и его эстетическое восприятие.

Коническая поверхность. Для формирования этого элемента необходимо определить область обработки и угол наклона образующей конуса. Как правило, он так же определяется исходя из задумки дизайнера, обрабатываемой поверхности кристалла и её характеристик. После определения области обработки, задаются координаты угла наклона образующей, и заготовка базируется с помощью оси θ,X,Y,φ. После базирования ось θ статична. Формирование конической поверхности происходит за счет вращения заготовки по оси φ. Скорость вращения φ зависит от размера обрабатываемой поверхности и предъявляемых требований к полировке этой поверхности – это определяется индивидуально в процессе обработки конкретного кристалла. При формировании качественно полированной поверхности с большими размерами элемента конической формы, скорость шагов двигателя оси φ рекомендуется уменьшить, а время воздействия на заготовку увеличить. Для формирования элемента и равномерного износа ОД, необходимо совмещать перемещение заготовки по оси φ с еще одной из осей, X или Y, либо их комбинацией.

Сферическая поверхность. Для формирования этого элемента необходимо определить область обработки и радиус окружности сферы. После определения области обработки, задаются координаты начальной точки обработки у вершины и конечной точки у основания полусферы. Заготовка базируется с помощью оси θ,X,Y. Формирование сферической поверхности происходит за счет взаимного перемещения осей θ и φ. Для формирования элемента и равномерного износа ОД, необходимо совмещать перемещение заготовки по осям θ и φ с еще одной из осей, X или Y, либо их комбинацией. Равномерность полировки сферической поверхности зависит от: сочетания скоростей перемещения осей θ и φ (определяется исходя из размеров получаемой сферы в программе MathCad , качества поверхности обрабатывающего алмазного инструмента (алмазный диск должен быть притерт, не иметь дефектов на поверхности и своевременно заменятся в ходе обработки сферической поверхности). Сферическая поверхность обладает оптическими свойствами выпуклой линзы, что влияет на характер отражения светового потока от поверхности и визуальное восприятие внутренней структуры кристалла.

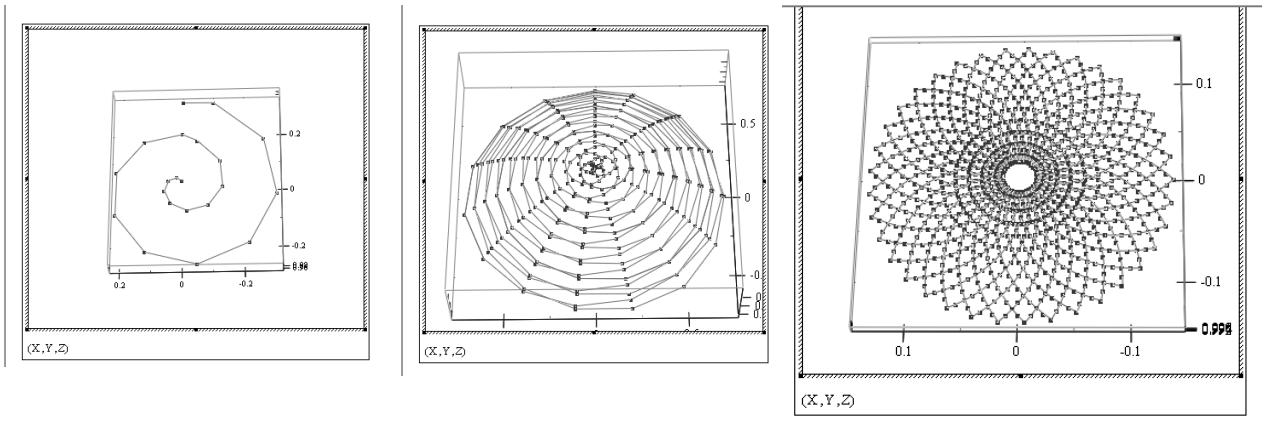
В ходе исследования были определены основные критерии определения технологических режимов обработки при волновом воздействии (табл. 1) и их влияние на особенности получаемой обработанной поверхности.

Таблица 1.

Критерии определения технологических режимов.

Критерий	Влияние на результат обработки	
Скорость	При увеличении скорости перемещения уменьшается эффективность съёма материала, увеличивается качество(чистота) и кривизна поверхности, увеличивается температура в зоне контакта. Соотношение скоростей оказывает определяющее влияние на конфигурацию поверхности.	
Путь	Регулирует величину получаемого объёмного элемента.	
Время воздействия	При увеличении времени воздействия улучшается качество поверхности.	
	Обработка в течении 10 мин позволяет получать поверхность шероховатостю Ra=4,3 нм.	Обработка в течении 15 мин позволяет получить поверхность шероховатостью Ra=1,5 нм.

С учетом полученных результатов в программе MathCAD были смоделированы варианты получаемых сферических поверхностей. Данное программное обеспечение целесообразно использовать для проверки правильности составленной программы обработки и определения траектории перемещения заготовки относительно инструмента в зависимости от соотношения скоростей (рис. 3 а, б, в).



а) б) в)

Рис. 3. Примеры смоделированных поверхностей.

Для моделирования была выбрана сферическая поверхность, так как получение в результате обработки такого типа поверхности наиболее

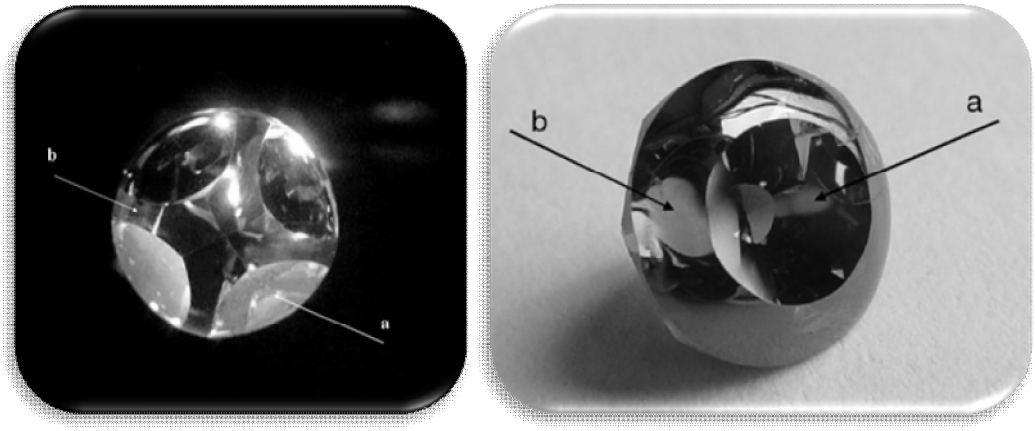
затруднено. На рис. 3 показаны примеры смоделированной сферической поверхности. В случае выбора параметров, заданных при моделировании а) и б), обработка проходит неравномерно, и на полученной в результате обработки поверхности будут видны риски, также могут оставаться необработанные участки. В случае выбора параметров, заданных при моделировании в), сформированная поверхность более ровная, при этом не остаётся необработанных участков.

В результате исследования были определены основные критерии технологических режимов обработки и их основные значения.

При образовании плоскости рекомендуемая скорость перемещения заготовки по оси x или y составляет около 0,1 м/мин. При обработке по параболической траектории скорость перемещения заготовки по x или y составляет около 0,1 м/мин, при этом скорость перемещения по θ составляет около 0,7 м/мин. При образовании конической поверхности скорость по оси x или y составляет около 0,1 м/мин, при этом скорость перемещения по φ составляет 20 об/мин. При образовании сферической поверхности скорость перемещения заготовки по x или y составляет приблизительно 0,1 м/мин, скорость перемещения по θ при этом составляет порядка 1,7 м/мин, и скорость перемещения по φ составляет около 60 об/мин.

В результате было определено, что основными параметрами технологических режимов при обработке квантово-волновым методом являются скорость перемещения заготовки по осям x,y,z,θ,φ, соотношение скоростей, время обработки и количество шагов двигателя по каждой оси. Следует также учитывать такие параметры, как температура обработки и скорость вращения инструмента, особенно при закрепке заготовки с помощью клея.

Получение изделий параболических, сферических, цилиндрических, конусообразных форм и их комбинаций с соблюдением высокой точности и необходимой шероховатости может быть использовано для создания таких изделий, как показано на рис. 4 а, б.



а) б)

Рис. 4. Предполагаемые заготовки будущего прибора.

На рис. 4, а): a – четыре алмазные грани, b – сегменты параболоида. Размер основания (диаметр) 5,5мм, высота заготовки 4 мм. В этом варианте, на четырех гранях алмазного кристалла (a), можно расположить разнообразные полупроводниковые структуры. Сегменты параболоида (b) могут нести функцию фокусирующего элемента светового потока на нижнюю плоскость. На этой плоскости может, например, располагаться гетерокомпозиция многокаскадного преобразователя солнечной энергии в электрическую. Возможны и другие варианты предполагаемых заготовок.

На рис. 4, б): a – плоская поверхность, b – сферическая поверхность. В этом случае на плоской поверхности (a) можно расположить необходимую рабочую структуру. Сферическая поверхность (b) позволяет направлять световой поток на нижние плоскости, где возможно создать либо фотоприемное устройство, либо преобразователь солнечной энергии. Все демонстрируемые поверхности подготовлены для ростовых процессов и их шероховатость не превышает 0,2 – 1.0 нм. Полученный рельеф шероховатости (Ra) позволяет использовать обработанные кристаллы для приборов, работающих в УФ части спектрального диапазона.

Такое качество обработки поверхности позволяет создавать алмазные линзы, эффективно работающие в широком диапазоне оптического спектра.

Учитывая спектральные характеристики алмаза, подобные линзы могут найти применение в технологиях, работающих с использованием широкого спектра оптического диапазона.

Приведенные примеры трехмерных образований из кристалла алмаза создают предпосылки для создания нового направления в нанотехнологиях. Это может быть востребовано для современных технологий опто - и микроэлектроники.

Литература

1 Вечерин П.П., Журавлев В.В., Квасков В.Б., Клюев Ю.А., Красильников А.В., Самойлович М.И., Суходольская О.В. Природные алмазы России. – М.: Полярон, 1997. – 304 с.

2 Алмаз в электронной технике: Сб.ст./Отв. ред. В.Б. Квасков. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 248 с.

3 Карасев В.Ю., Крюков В.Д., Кузнецов М.Г., Пинтус С.М., Ламин М.А., Пчеляков О.П., Соколов Л.В. Микроэлектроника, 2005. – том 34. – №1. – С. 37-42.

4 Diamond polishing. J. R. Hird and J. E. Field. Physics and Chemistry of Solids, Department of Physics, Cavendish Laboratory, University of Cambridge, Madingley Road, Cambridge CB3 0HE, UK. Received 20 May 2003; accepted 19 April 2004; published online 9 September 2004.

5 Интернет-источник: http://mikropribor.ru/ Проверено: 10.03.2012.

Аннотация

Волновой метод обработки позволяет получать криволинейные поверхности алмаза с соблюдением требуемых параметров поверхности. В результате исследования были определены критерии технологических режимов обработки: скорости заготовки по осям x,y,z,θ,φ, времени обработки, количества шагов двигателей.

Wave processing method allows to obtain curved surfaces of diamond in compliance with the required parameters of the surface. The study identified the criteria of technological regimes of processing: the rate of harvesting on the axes x, y, z, θ, φ, processing time, the number of steps engines.

Ключевые слова

обработка алмаза, волновой метод, криволинейные поверхности алмаза, режимы обработки

processing of diamond, wave method, curved surface of the diamond, processing modes