© А.А. Алтухов, А.В. Митёнкин,
Т.Б. Теплова, М.А. Доронин, 2013

УДК 679.8

А.А. Алтухов, А.В. Митёнкин, Т.Б. Теплова, М.А. Доронин

ОБРАБОТКА АЛМАЗНЫХ ЗАГОТОВОК ТЕРМОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ С ПОЛУЧЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ НАНОМЕТРОВОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ

Раскрыта проблема достижения нанометрового рельефа поверхности алмаза при его применении в высокотехнологичных изделиях микроэлектроники и медицины. Приводится описание термохимического способа, конструкции термохимической установки, указывается область применения. Описано экспериментальное исследование с последующим составлением графика и выводом формулы зависимости качества обработки поверхности от температуры обрабатывающего диска. Сделаны выводы о необходимости дальнейших исследований.

Ключевые слова: микроэлектроника, термохимический способ обработки алмаза, шероховатость поверхности нанометрового уровня, температурный режим.

Основной задачей, на решение которой направлены усилия государства, является обеспечение разработки и серийного освоения в необходимых количествах номенклатуры ЭКБ (электронной компонентной базы) нового поколения, используемой в космической отрасли, микроэлектроники и для создания приоритетных образцов вооружения, с целью сокращения технического отставания от мирового уровня, уменьшение импортной зависимости.

Как подчеркнул в своем докладе вице-премьер Дмитрий Рогозин: «создание в России современной технологической базы разработки и производства изделий микроэлектроники и достижение технологической независимости России в этой области является одной из ключевых задач модернизационного развития страны, на которой предполагается сконцентрировать ресурсы государства и бизнеса с целью достижения максимального эффекта» [1].

Алмаз традиционно применяется в ювелирной и инструментальной промышленности. Высокие показатели теплопроводности (в 5 раз выше, чем у меди), химической инертности (не растворим в плавиковой, соляной, серной и азотных кислотах), прозрачности (от ультрафиолетового до радиоволнового спектра), диэлектрической проницаемости (ε = 5,7), твердости (81-100 ГПа), позволяют успешно использовать алмаз в микроэлектронике в качестве окон и подложек, многокристальных модулей, в медицине как микролезвия скальпелей, служат для создания детекторов ядерных и ионизирующих излучений, приемников УФ излучения, используемых в космической индустрии [6].

При традиционном механическом способе шлифования удаление массы алмаза происходит за счет механического соударения с частицами абразива при быстром вращении алмазного диска (около 3 тыс. об/мин.). Обработанная поверхность имеет шероховатость 200-300 нм и требует дополнительной обработки травлением в агрессивных средах.

Однако применение алмаза в микроэлектронике ставит технологические задачи по прецизионной обработки поверхности. Для такой обработки необходимо использовать новые методы, которые позволят получить заготовки для технологических изделий [5]. Одним из перспективных способов достижения нанометровой шероховатости заготовок из натурального алмаза является термохимический способ обработки.

Особенности процесса термохимиической обработки алмаза

Сущность термохимического способа обработки алмаза заключается в растворении алмаза металлами переходной группы или сплавами этих металлов при температурах выше 600°С. Удаление массы алмаза происходит за счет растворения углерода алмаза металлическим диском в водородной среде. При указанной температуре обработки алмаз не реагирует непосредственно с водородом, но последний хорошо реагирует с растворенным в металле углеродом алмаза, образуя метан:

$C(тв) + 2H_2(г) = CH_4(г) + 76$ кДж/моль.

Таким образом, достигается сохранность кристалла алмаза в не подлежащих обработке участках и непрерывная регенерация алмазообрабатывающего металла.

При обработке алмаза неподвижным относительно него инструментом обработанная поверхность кристалла принимает рельеф поверхности металла. Для полирования и расширения числа операций обработки, а также для повышения скорости процесса алмаз обрабатывают движущимся относительно обрабатываемой поверхности инструментом (диском).

Алмаз контактирует при небольшой нагрузке (150Н) с медленно вращающимся нагретым диском (от 2 до 10 об/мин.). Все это позволяет получать при применении термохимического способа шлифования высокую чистоту обработанной поверхности порядка 5 нм. [2]

Установка термохимической резки алмаза показана на рис. 1 и рис. 2.

Термохимический способ обработки алмаза применяется в научно-технической, медицинской и ювелирной промышленности:

Заточка микролезвий скальпелей для офтальмологии, нейрохирургии и микробиологии. Скальпеля состоят из рукоятки (держателя) и закрепленного в нем алмазного лезвия. Ширина режущей кромки алмазного лезвия 600 - 800 Ангстрем. При трехсоткратном увеличении на режущей кромке лезвия должна быть идеальная поверхность без сколов.

Высокое качество заточки алмазного лезвия обеспечивается благодаря термохимическому методу.

Термохимический способ нанесения несмываемых линий разметки на кристаллы перед их распиливанием внедрен усилиями начальника Смоленского СКТБ «Кристалл» А. М. Бочаровым (ныне зам. генерального директора СГУП «Кристалл», профессора). Линия с углублением позволяет распиливать кристалл без выполнения операции запила, т.е. без изготовления насечки на месте начала распиливания кристалла.

Осуществление гравировки на поверхности алмаза и инкрустирование металлами. 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 [2].

Изготовление ювелирных изделий из некондиционного алмазного сырья,

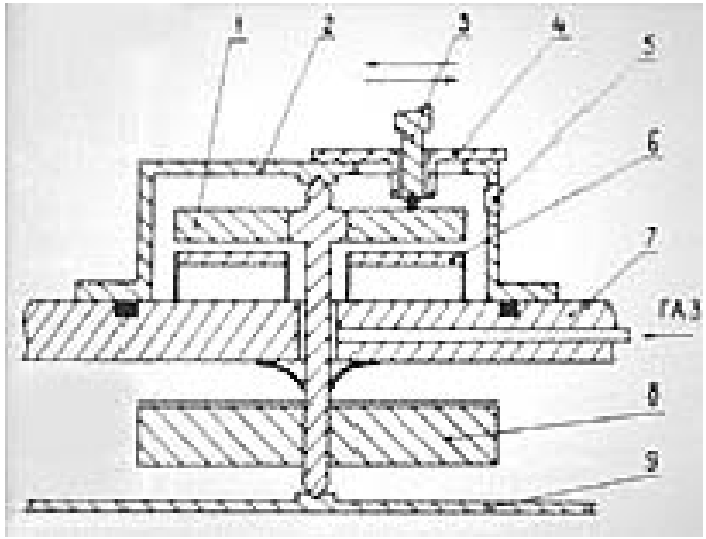

Рис. 1. Схема конструкции термохимической установки

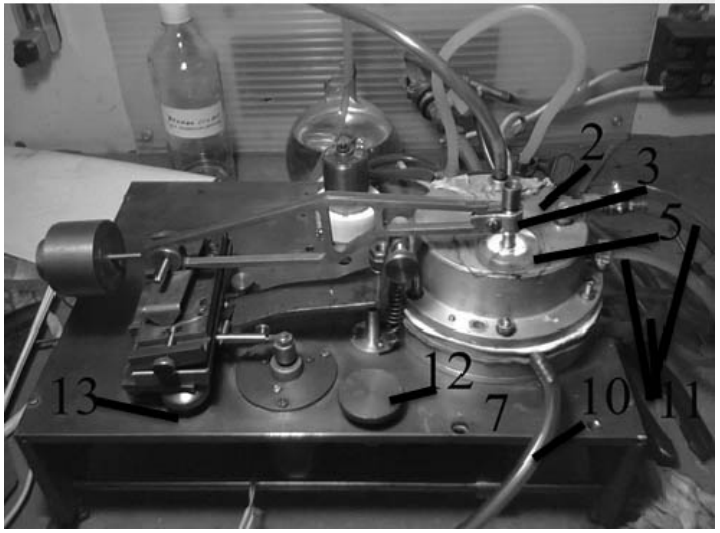

Рис. 2. Установка термохимической обработки 084ХН-100-002*

: 1 - алмазообрабатывающий диск; 2 - кожух; 3 - кристаллодержатель с алмазом; 4 - крышка; 5 – смотровое окно; 6 - нагреватель; 7 - основание; 8 - шкив; 9 - пружинный упор; 10 –трубка подачи водорода; 11 – трубки водного охлаждения; 12 – винт изменения высоты кристаллодержателя; 13 – винт изменения угла кристаллодержателя.

* Элементы 1 и 6 находятся на рис. 2. под кожухом 2; элементы 8 и 9 – под основанием 7

например, из алмазов разновидности «Boart».

Распиливание кристаллов алмаза: происходит локальное растворение атомов углерода в металле (сплаве), способном растворять значительное количество углерода (до 3-5 %). В дальнейшем раствор углерода в металле (или сплаве) удаляют, и в зону растворения алмаза транспортируют новые порции металла, не содержащего углерода.

Прецизионная обработка поверхности алмазного материала для дальнейшего использования в создании окон и подложек, детекторов ядерных и ионизирующих излучений.

Достоинством термохимического способа обработки алмазов является возможность получения алмазных изделий с шероховатостью поверхности Ra=5нм. Изменяя технологические параметры, условия и режимы обработки можно получать поверхность заданной шероховатости, например, качеством получаемой поверхности алмаза можно управлять, изменяя режим обработки, а именно:

температуру;

частоту оборотов диска;

продолжительность обработки;

концентрацию водорода.

Для определения зависимости шероховатости поверхности алмазной пластины от температуры обрабатывающего диска была проведена обработка поверхности трех образцов пластин из природного алмаза, имеющих линейные размеры 3×6×1 мм; 1,5× 6×1 мм и 2×6×0,8 мм. Каждый образец обрабатывался при определенной температуре обрабатывающего диска при сохранении остальных параметров обработки неизменными. Обработка алмазных пластин производилась на установке термохимической обработки 084ХН-100-002 при следующих условиях:

– температура обрабатывающего диска 600, 650 и 700 °С соответственно;

– давление подачи водорода – 0,05 атм.;

– частота оборотов диска – 2 об/мин;

– продолжительность обработки – 2 часа.

Методика проведения экспериментального исследования и применяемое оборудование и инструменты

Изучение образца алмаза (установление массы, шероховатости поверхности, визуальное изучение поверхности с помощью микроскопа МБС-9).

Закрепление образца алмаза в кристаллодержатель.

Калибровка кристаллодержателя относительно обрабатывающего диска.

Включение подачи водорода к термохимической установке с помощью генератора водорода ГВЧ-12К. Насыщение камеры установки в течение 30 минут.

Подключение водного охлаждения.

Прогрев до необходимой температуры обрабатывающего диска.

Включение вращения обрабатывающего диска и движения кристаллодержателя.

Обработка образца в течение 2 часов.

Извлечение образца алмаза, плавное охлаждение камеры, отключение подачи водорода и водного охлаждения.

Изучение обработанного образца с помощью лупы 10^x, микроскопа МБС-9, профилометра-профилографа Alpha-Step 200.

Результаты экспериментальных исследований

В результате проведенных исследований были обработаны 3 алмазных (природных) заготовки, при тем-

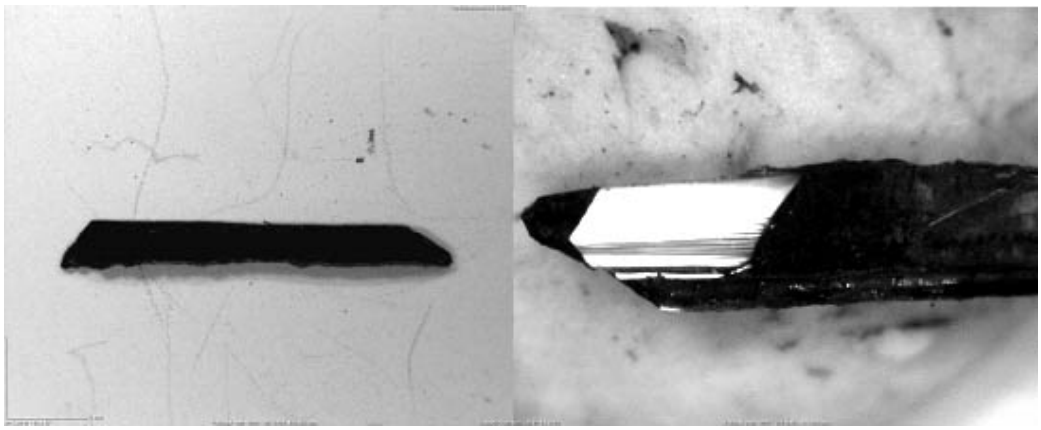

Рис. 3. Образец алмаза до обработки (слева) и после обработки

Рис. 4. График экспериментальной зависимости шероховатости Ra поверхности алмаза от температуры

пературе 600, 650 и 700 °С соответственно. Показатели шероховатости были измерены до обработки и после обработки алмазных образцов:

при T = 600 °С – до обработки Ra=2631 нм, после – Ra = 835 нм;

при T = 650 °С – до обработки Ra=589,6 нм, после – Ra = 355,5 нм;

при T = 700 °С - до обработки Ra=1681 нм, после – Ra = 96,5 нм (см. рис. 3).

По данным измеренной шероховатости поверхности образцов была установлена зависимость качества обработанной поверхности от температуры обрабатывающего диска, и построен график данной зависимости в программной среде CurveExpert.

Данный график описывается формулой

$Y = a+bx+cx^2$,

где a= 723, b=-0,25, $c=1,2*10^{-4}$.

Выводы

Данный исследовательский эксперимент, установил зависимость качества поверхности от температуры обрабатывающего диска. С помощью функции, описывающей график данной зависимости, можно определить температуру, при которой шероховатость поверхности обработанного образца будет достигать 5 нм – 720 °С.

Работы по исследованию термохимического процесса обработки алмазных заготовок необходимы для выявления оптимальных режимов обработки, чтобы повысить эффективность процесса обработки и добиться высокого качества поверхности. Результаты этих исследований найдут применение в изготовлении изделий научно-технического назначения (производство подложек, модулей памяти, детекторов излучений и т.д.), в производстве ювелирных изделий (дополнительная полировка эксклюзивных бриллиантов) и в изготовлении изделий технического (производство алмазных гребенок, волок и т.д.) и медицинского назначения (производство лезвий для офтальмологических и хирургических микроскальпелей).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интернет источник: http://www.almaz-antey.ru/about/press/ production/963.html. Проверено: 20.01.2013.
2. *Шамаев П.П., Григорьева А.С., Ботвин В.В.* О термохимических методах обработки алмазов с новых позиций. - Наука и техника в Якутии № 1, 2002, с. 27-29.
3. *Солодова Ю.П., Николаев М.В., Курбатов К.К.* Геммология алмаза: учебник. – М.: Агат, 2008. – 416 с.
4. Интернет источник: http://www.uralalmazinvest.ru. Проверено: 20.01.2013.
5. *Алтухов А.А., Еремин Н.В., Климов С.В., Обыден С.К., Сапарин Г.В., Татьянина Н.А.* Методика отбора алмазного сырья для микроэлектроники. – М.: 2000. – с 219-220.
6. *Алтухов А.А., Гаврилов В.В., Ерёмин В.В., Киреев В.А.* Фотоприемники ультрафиолетового диапазона на природном алмазе. – М: «Прикладная физика», №2, 2004. – с 76-81.
7. *Алтухов А.А., Львов С.А., Митёнкин А.В., Митягин А.Ю., Могучев А.В.* – Патент №90375 от 10.01.2010 г.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Алтухов Андрей Александрович – кандидат технических наук, председатель Совета Учредителей,
Митёнкин Анатолий Валерианович – главный инженер,
ПТЦ УралАлмазИнвест;

Теплова Татьяна Борисовна – профессор, доктор технических наук,
Доронин Максим Алексееви – студент, ahileska90@mail.ru
кафедра «Технология художественной обработки материалов», Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru