

Влияния дефектов кристаллической структуры синтетических алмазов на их лазерную обработку

Е. Б. ШЕРШНЕВ, А. Е. ШЕРШНЕВ

Одним из наукоемких и перспективных направлений в промышленности является создание синтетических сверхтвердых материалов, которые по своим характеристикам превосходят природный алмаз. В частности на НРУП «Адамас – БГУ» созданы производственные мощности по выпуску СТМ «Алмазот», который с успехом может быть применен для изготовления однокристалльного и однолезвийного инструмента, а также для изделий электронной техники: теплоотводы, ИК окна, электронные подложки, пластины.

СТМ "Алмазот" обладает высокой степенью совершенства кристаллической решетки. Для его кристаллов теплопроводность составляет $0.9-11 \cdot 10^3 \text{ В} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, электрическое сопротивление колеблется в пределах $2.5 \cdot 10^{13} \dots 6.0 \cdot 10^{13} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Микротвердость алмазота 9230 кг/мм^2 при нагрузке 500 г, прочность на сжатие $9.68 \dots 10.01 \cdot 10^9 \text{ Nm}^{-2}$. Предварительные исследования показывают, что коэффициент трения на воздухе находится в пределах $0.8 \dots 0.1$. Однако его значение зависит от нагрузки, геометрии, направления перемещения и ориентации. Для кристаллов (111) $\mu = 0.06$ и приблизительно постоянно во всех направлениях. Для кристаллов (100) значения варьируется между 0.05 вдоль плоскости (001) до 0.1-0.15 вдоль плоскости (010) для перемещений вдоль (100). Наличие анизотропии механических свойств создает существенные трудности при механической обработке таких кристаллов. В частности по «твердым» направлениям распиливание практически невозможно.

Сравнительный анализ современного состояния технологии обработки алмазов показывает, что лазерная обработка имеет серьезные преимущества в основных операциях предварительной обработки [1, с.103]. Строение кристаллической решетки позволяет вести лазерную обработку в любых кристаллографических направлениях, обеспечивая возможностью получения узких резов под воздействием локального температурного воздействия, т.к. поглощение лазерного излучения в объеме материала и возникновение градиента температуры приводит к критическим нагрузкам и возможному разрушению кристаллов.

Настоящая работа посвящена установлению связи между особенностями дефектно-примесного состава кристаллов и вероятностью их разрушения при лазерном облучении. Эта информация позволит в перспективе прогнозировать вероятность раскалывания кристаллов в процессе формообразования.

Раскол начинается с появлением сети трещин, которые, пересекаясь, отделяют частицы материала. Возникает нарушенный слой, который делится на рельефный, состоящий из трещин и впадин, трещиноватый, пронизанный трещинами и сколами, и напряженный слой, в котором нет механических нарушений, но действуют возникшие в результате механической обработки силы упругости.

Установлено [2, с. 232], что повышенную вероятность раскола при обработке лазерным излучением больше у кристаллов имеющих:

- 1 концентрически – зональный характер двулучепреломления;
- 2 низкую концентрацию центров N_3 ;
- 3 повышенное содержание (более $1,2 \cdot 10^{19} \text{ ат/см}^3$) примеси азота.

Формообразование СТМ Алмазот осуществлялось с помощью лазерной установки ЭМ-260, созданной на основе твердотельного лазера квазинепрерывного действия RL10Q. Он представляет собой источник лазерного излучения с длиной волны 1064 нм, работающий в режиме модуляции добротности резонатора, состоящий из источника питания и управле-

ния и излучателя. В номинальном режиме лазер работает в режиме генерации основной поперечной моды (TEM_{00}) при частоте повторения импульсов 0-20 кГц. Поляризация выходного излучения – линейная, вертикальная, 100:1. Диаметр пучка на выходном зеркале (по уровню 0,1 мощности излучения) – 0,6 мм, расходимость – не более 2,6 мрад. Средняя мощность лазерного излучения при частоте следования импульсов 5 кГц – 7,5 Вт. Длительность импульса лазерного излучения при частоте следования импульсов 5 кГц – 32 Вт. Питание лазера осуществляется от однофазной сети переменного тока с напряжением 100-240 В частотой 47-63 Гц. Потребляемая мощность – не более 600 Вт. Использование модернизированной установки ЭМ-260 и ее программного обеспечения позволяет обрабатывать кристаллы СТМ «Алмазот» без учета кристаллографического направления [3, с. 108].

Несмотря на снижение уровня тепловой нагрузки за счет применения нового поколения лазерных систем, расколы наблюдались. Для исследования структурных особенностей были отобраны по характерным признакам типичные образцы кристаллов расколовшихся при лазерном воздействии.

Монокристаллы СТМ «Алмазот» были исследованы методом катодolumинесценции [4, с. 204] до и после лазерной резки. В течении непродолжительного времени все образцы помещались в кипящий хромпик для удаления остатков графитовых наслоений и органических загрязнений. Исследовались спектры люминесценции, как из области реза, так и из области кристалла, удаленной от линии лазерного реза.

Проведенные исследования показывают (рисунок 1), что для желто-зеленых образцов СТМ «Алмазот» в области лазерного реза, отмечается резкое возрастание интенсивности никель содержащего центра (484 нм), а также снижение интенсивности азотсодержащего центра (575 нм). Из этого следует, что высокое температурное воздействие в зоне лазерного реза привело к замещающему положению атомов никеля в решетке и их оптической активности (центр 484 нм), дефектные комплексы, состоящие из замещающих атомов азота и вакансий (центры 575 нм), отожглись при таком воздействии. Известно, что центр 575 отжигается в стационарных условиях при температурах порядка 900°C, когда становятся подвижными входящие в его состав вакансии, в результате чего формируется более сложный стабильный дефект, включающий два атома азота и проявляющийся в виде центра НЗ с длиной волны бесфононной линии 503,2 нм. Поскольку в нашем случае такой сложный дефект не образовался, можно сделать вывод о том, что процессы, сопровождающие лазерный отжиг, не могут рассматриваться как полная аналогия стационарного отжига, так как процессы распада дефектных комплексов преобладают над процессами их формирования.

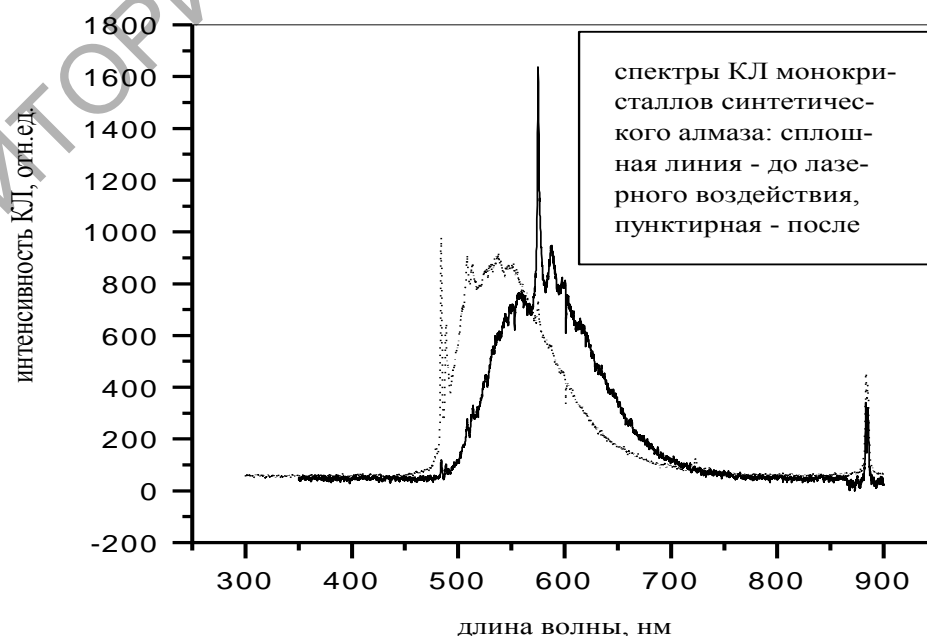


Рисунок 1 – Спектр КЛ монокриссталла СТМ «Алмазот»

В результате проведенных исследований выяснено, что механические напряжения, возникающие в процессе лазерной обработке кристаллов, релаксируют в процессе их остывания. Данный факт подтверждается тем, что ширина бесфоновых линий исследованных оптических центров в исходных образцах и в области реза остаются неизменными.

В случае лазерной обработки бесцветных синтетических монокристаллов спектр катодолюминесценции необработанного кристалла практически соответствует спектру обработанного кристалла в зоне лазерной обработки. В случае такого кристалла регистрируется только широкая бесструктурная полоса. Этот факт можно объяснить практически полным отсутствием в кристалле оптически активных дефектов азота и никеля (при чувствительности метода 10^{12} см^{-3}).

Так же проводились исследования материала СТМ методом ЭПР [4, с. 198]. В исследованных образцах СТМ наблюдался сигнал ЭПР, представляющий собой суперпозицию линий триплета, обусловленного одиночными атомами азота, замещающими углерод в решетке алмаза (С-центр) и широкой линии (с шириной более 500 Гс), обусловленной присутствием в решетке СТМ металла-катализатора. Изучение анизотропии С-центров (поворот кристалла в резонаторе осуществлялся относительно внешнего магнитного поля на произвольные углы) свидетельствует о поликристалличности алмазов, но с точки зрения примесного состава кристаллы являются весьма совершенными. Отметим, что кристаллы, не расколовшиеся в процессе лазерного облучения, содержали С-центры с большими временами релаксации.

На рисунках 2-4 приведены спектры ЭПР одного из расколовшихся образцов: исходного (рис.2) и после лазерной обработки, в результате которой образец раскололся на две части (рисунки 3, 4). Разрушение указанного образца произошло по границе раздела, отделяющей часть кристалла, содержащую металлическую примесь (рис.3). Во второй части кристалла регистрируется только С-центр, тогда как сигнала от проводящих включений не наблюдается (рис.4).

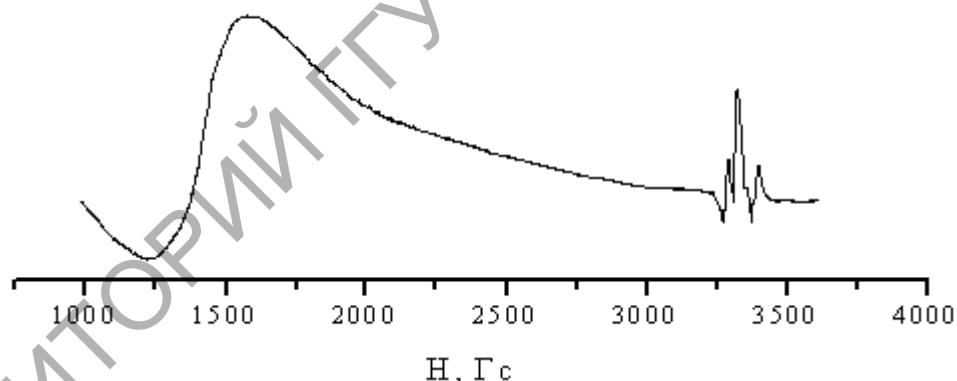


Рисунок 2 – Исходный кристалл

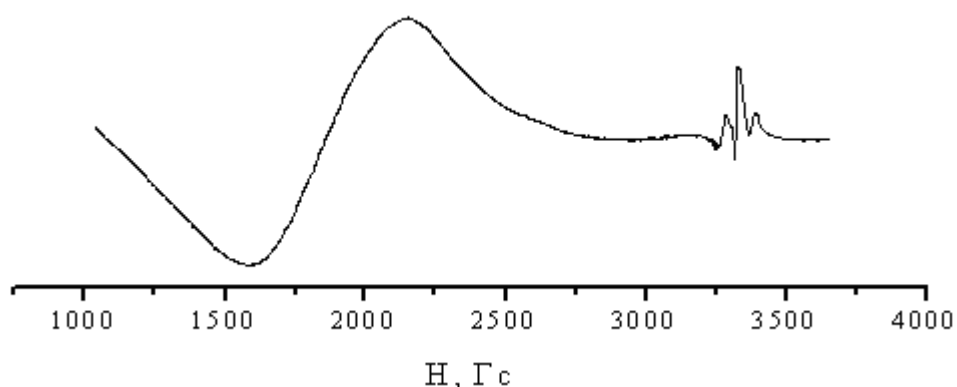


Рисунок 3 – Расколовшийся кристалл

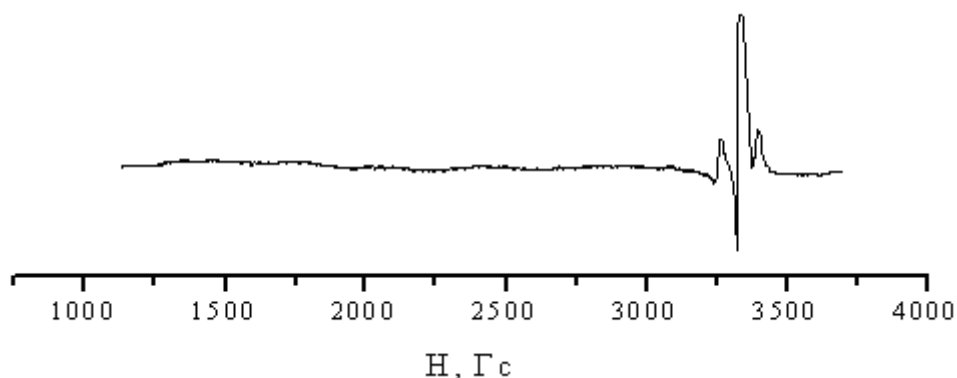


Рисунок 3 – Расколовшийся кристалл

Итак, можно сделать заключение о том, что, несмотря на наличие азота в С-форме, эффективно упрочняющего решетку, возможно произвольное разрушение алмазов вследствие неоднородного распределения металлической примеси, либо вследствие поликристаллического строения образцов, даже при незначительной разориентации кристаллитов.

Abstract. The influence of crystalline structure of synthetic diamonds on their laser treatment is considered in the paper.

Литература

1. Епифанов, В.И. Технология обработки алмазов в бриллианты / В.И. Епифанов, А.Я. Песина, Л.В. Зыков // Высшая школа, Москва, 1987. – 333 с.
2. Хмыль, А.А. Компьютерное моделирование процесса лазерной обработки алмаза / А.А. Хмыль, Е.Б. Шершнева, А.Е. Шершнева // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Сборник материалов 4 международной научно-технической конференции. В 2-х томах. Т.1. – Новополоцк: ПГУ, 2006. – С. 231–233
3. Хмыль, А.А. Исследование процесса лазерной обработки сверхтвердых алмазоподобных монокристаллических материалов / А.А. Хмыль, Е.Б. Шершнева, А.Е. Шершнева // Известия гомельского государственного университета им Ф. Скорины, Т. 6 – 2006. – С. 107-110.
4. Бокий, Г.Б. Природные и синтетические алмазы / Г.Б. Бокий, Г.Н. Безруков, Ю.А. Клюев и др. // Наука Москва, 1986. – 225 с.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 28.03.09