

Термохимическая лазерная обработка монокристаллов алмаза

В. А. Емельянов¹, Е. Б. Шершнев², А. Н. Купо², С. И. Соколов²

¹ОАО «ИНТЕГРАЛ» - управляющая компания холдинга «Интеграл», Минск, Беларусь;
²Гомельский государственный университет им. Франциска Скорины, Гомель, Беларусь;
e-mail: sokolov@gsu.by

В работе представлены результаты по термохимической обработке кристаллов алмаза. Приведены расчеты зависимости скорости удаления алмаза при термохимической обработке от температуры и от времени. Проведены экспериментальные исследования по термохимической обработке поверхности алмаза.

Ключевые слова: лазерная обработка, алмаз, диффузия, растворение, углерод

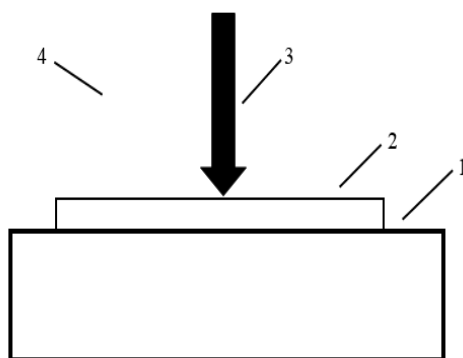
Введение

Благодаря высокой теплопроводности 900 – 2300 Вт/(м•К) алмаз широко применяется в качестве теплоотводов в мощных мультичиповых модулях и линейках полупроводниковых лазеров, Физические свойства кристаллов алмаза обеспечивают надёжную работу устройств, созданных на его основе, в критических условиях, а также иедают перспективным применение данных кристаллов при создании новой техники [1].

В настоящее время обработка алмазов осуществляется механическим способом и с помощью лазерного излучения. В случае использования лазерного излучения происходит графитизация обрабатываемой поверхности кристалла. Наиболее перспективным является термохимический способ обработки алмаза, который протекает при повышенных температурах, а в основе его лежит использование химических свойств алмаза.

1. Основная часть

В основе термохимического способа обработки алмаза лежит процесс каталитического взаимодействия углерода (алмаза) с водородом (гидрогенолиз) или смесями водорода с водяным паром и углекислым газом. Для определения оптимальных условий проведения термохимической обработки алмаза и выявления возможностей способа необходимо исследовать физико-химические механизмы протекающих процессов. При этом, для прецизионной обработки в качестве источника нагрева используется лазерное излучение, которое полностью поглощается металлом. Схема термохимической обработки представлена на рис.1.



1 – алмаз; 2 – металл; 3 – лазерное излучение; 4 – газовая среда

Рис. 1 – Схема термохимической обработки алмаза.

Процесс термохимической обработки включает следующие стадии:

- 1) растворение углерода в твердом металле переходной группы;
- 2) диффузия углерода через металл к поверхности;
- 3) диссоциация водорода каталитически активными атомами металла-катализатора;
- 4) гидрогенизация растворенного углерода на поверхности металла атомарным водородом.

Химическую сущность процесса термохимической обработки алмаза можно выразить следующими уравнениями реакций:



где С – алмаз или другое углеродное вещество, Ме – металл-катализатор (в случае обработки алмаза металл, который обрабатывает алмаз).

Наиболее важным в механизме протекания указанных реакций является взаимодействие углерод – металл, т. е. адсорбция углерода металлом, которая может осуществляться благодаря растворению углеродного вещества в металле посредством образования неустойчивых карбидоподобных соединений.

При постановке задачи приняты следующие объективные допущения: 1) диапазон температур, при которых проводится лазерная обработка, ограничен температурами плавления металла; 2) давление в газовой фазе не превышает атмосферное; 3) газовая среда принималась однокомпонентной.

Скорость удаления N (кг/с) алмаза при термохимической обработке может быть вычислена по уравнению, приведенному в [2]. Результаты расчетов при различных энергиях активации и разных температурах приведены на рис. 2 и рис. 3.

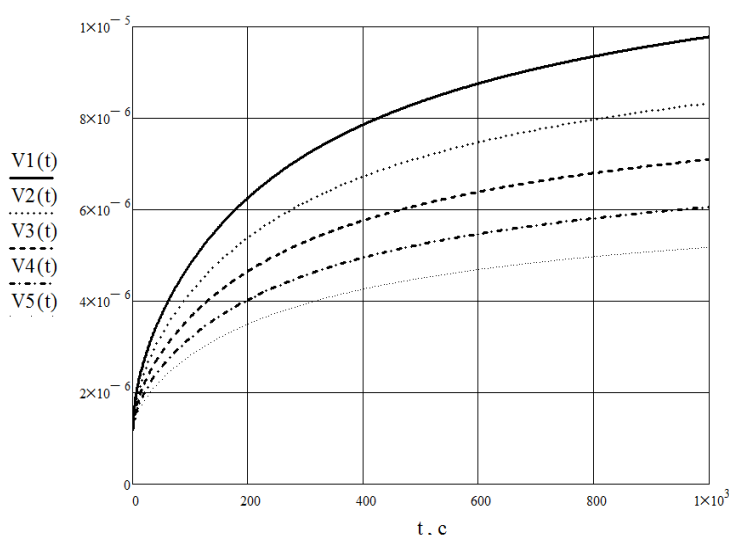


Рис. 2 – Зависимость скорости удаления алмаза $V(t)$ от времени при различной энергии активации, $\text{кг}/(\text{см}^2\cdot\text{с})$: $V1(t) - 6 \cdot 10^{-3}$ кДж/моль; $V2(t) - 8 \cdot 10^{-3}$ кДж/моль; $V3(t) - 10 \cdot 10^{-3}$ кДж/моль; $V4(t) - 12 \cdot 10^{-3}$ кДж/моль; $V5(t) - 14 \cdot 10^{-3}$ кДж/моль.

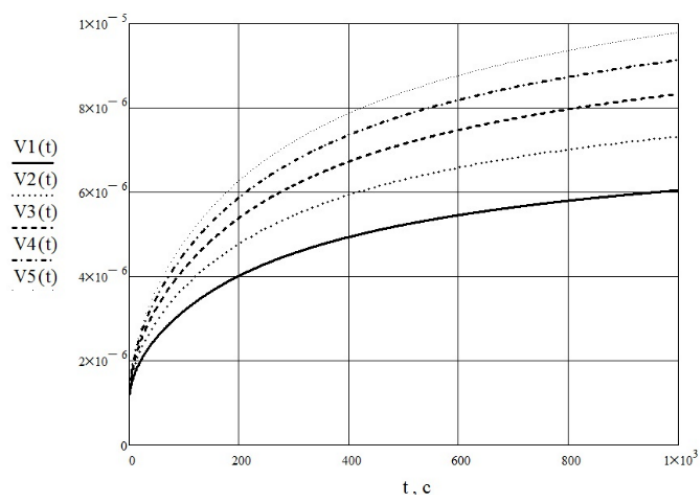


Рис. 3 – Зависимость скорости удаления алмаза $V(t)$ от времени при различной температуре, $\text{кг}/(\text{см}^2\text{с})$: $V1(t)$ – 600 К; $V2(t)$ – 800 К; $V3(t)$ – 1000 К; $V4(t)$ – 1200 К; $V5(t)$ – 1400 К.

Как видно из рис. 2 и рис. 3, скорость удаления алмаза растет с увеличением температуры, при этом достигая насыщения через определенное время, что говорит об увеличении концентрации углерода в металле, поэтому для эффективного удаления алмазного материала необходимо выводить углерод с поверхности металла за счет гидрогенизации водородом.

Были проведены экспериментальные исследования по термохимической обработке поверхности алмаза. В экспериментальных исследованиях использовался материал СТМ «Алмазот», представляющий собой искусственный аналог алмаза. Установка, на которой проводился эксперимент, изображена на рис. 4.



Рис. 4 – Установка для термохимической обработки сверхтвердых материалов

В эксперименте исследовалась зависимость скорости травления алмаза от скорости перемещения образца в диапазоне 5–70 мм/мин. Результаты исследования приведены в табл. 1.

Табл. 1 – Сводные данные по термохимической обработке с лазерным ассистированием СТМ «Алмазот».

Скорость, мм/мин	Покрытие	След травления
10	Разрушилось	нет
30	Сохранилось	Отчетливый след травления
40	Сохранилось	Прерывистый след травления
60	Сохранилось	нет

Установлено что травление при скоростях ниже 10 мм/мин отсутствует в следствии теплового разрушения молибденового покрытия. При скоростях ≈ 30 мм/мин наблюдается отчетливый след травления, что на наш взгляд соответствует оптимальным условиям обработки. Увеличение скорости перемещения приводит к уменьшению следа травления, до его полного отсутствия при скоростях перемещения выше 60 мм/мин.

Заключение

Таким образом, проведенное моделирование позволяет эффективно управлять процессом термохимической обработки, а использование лазера позволит обрабатывать алмаз с точностью порядка 10-30 мкм. Проведенные экспериментальные исследования позволили разработать установку, позволяющую проводить на поверхности алмаза интенсивное протекание диффузионных процессов при создании локального лазерного воздействия. Разработка представленной выше математической модели и результаты экспериментальных исследований по термохимическому воздействию на поверхность алмаза дают возможность разрабатывать эффективные модели микроформообразования при лазерной полировке, литографии и созданию заданной топологии изделий из алмазов.

Литература

1. Митягин А. Ю., Алтухов А. А., Митягина А. Б. Технология и оборудование для обработки алмазных материалов современной техники. Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2009. № 1. С. 53–58.
2. Григорьев А. П., Лифшиц С. У., Шамаев П. П. Механизм гидрирования углерода в присутствии никеля, железа и платины. Кинетика и катализ. 1977. Т. 18, № 4. С. 948–952.

Thermochemical laser processing of diamond single crystals

V.A. Emelyanov¹, E.B. Shershnev², A.N. Kupo², S.I. Sokolov²

¹ JSC "INTEGRAL" - the managing company of the holding "Integral", Minsk, Belarus;

² Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus;

e-mail: sokolov@gsu.by

The paper presents the results on the thermochemical treatment of diamond crystals. Calculations of the dependence of the rate of removal of diamond removal during thermochemical treatment on temperature and time are presented. Experimental studies on the thermochemical treatment of the diamond surface have been carried out.

Keywords: laser processing, diamond, diffusion, dissolution, carbon.