

## ПРЕЦИЗИОННАЯ ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ НРНТ-АЛМАЗА

Г.А. Гусаков<sup>1)</sup>, Г.В. Шаронов<sup>1)</sup>, П.Г. Гусаков<sup>1)</sup>, Л.В. Баран<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко,  
Белорусского государственного университета,  
ул. Курчатова 7, Минск 220045, Беларусь, gga68@rambler.ru

<sup>2)</sup>Белорусский государственный университет,  
пр. Независимости 4, Минск 220030, Беларусь, baran@bsu.by

Показана возможность суперфинишной полировки поверхности алмаза с использованием импульсного лазерного излучения. В результате сканирования поверхности алмаза лазерным лучом мощностью 30 Вт при скорости сканирования 1500 мм/с было зафиксировано уменьшение шероховатости подложки  $R_a$  с 2.3 до 0.9 нм. Данная технология представляет интерес с точки зрения получения алмазных подложек с атомно-гладкой поверхностью и ненарушенной структурой приповерхностного слоя для изделий оптоэлектронного назначения.

**Ключевые слова:** НРНТ-алмаз; подложка; лазерная обработка; графитизация; суперфинишная полировка.

## PRECISE LASER PROCESSING OF THE HPHT-DIAMONDS SURFACE

G.A. Gusakov<sup>1)</sup>, G.V. Sharonov<sup>1)</sup>, P.G. Husakou<sup>1)</sup>, L.V. Baran<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Sevchenko Institute of Applied Physics Problems, Belarusian State University,  
7 Kurchatov Str., 220045 Minsk, Belarus, gga68@rambler.ru

<sup>2)</sup>Belarusian State University, 4 Nezavisimosti Ave., 220030 Minsk, Belarus, brlv@mail.ru

The possibility of superfinish polishing of the diamond surface using pulsed laser radiation is shown. As a result of scanning the diamond surface with a 30 W laser beam at a scanning speed of 1500 mm/s, a decrease in the substrate roughness  $R_a$  from 2.3 to 0.9 nm was recorded. This technology is of interest from the point of view of obtaining diamond substrates with an atomically smooth surface and an undamaged structure of the near-surface layer for optoelectronic devices.

**Keywords:** HPHT diamond; substrate; laser processing; graphitization; superfinish polishing.

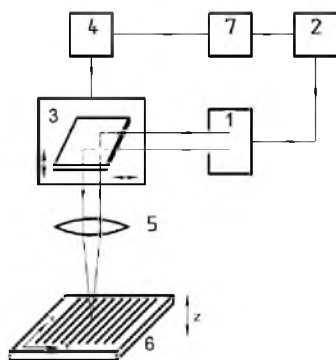
### Введение

В последнее десятилетие значительно возрос интерес к использованию кристаллов алмаза в оптике, фотонике и электронике [1, 2]. Этот интерес обусловлен уникальной комбинацией механических, теплофизических, оптических и электрических свойств этого материала, а также существенным прогрессом в области разработки технологии синтеза монокристаллов алмаза с заданными характеристиками [3]. Расширение областей использования алмаза требует разработки новых методов обработки его поверхности на наноуровне. Для изготовления большинства современных оптоэлектронных приборов требуются подложки с шероховатостью поверхности менее 1 нм [2]. Еще одним важным требованием является отсутствие нару-

шенного приповерхностного слоя. Однако из-за чрезвычайной твердости и химической инертности алмаза его механическая обработка затруднена. Кроме того, при механической обработке происходит хрупкое разрушение поверхности подложки, при этом образуется нарушенный приповерхностный слой толщиной до 10 мкм, наличие которого приводит к заметному ухудшению характеристик электронных устройств. В настоящее время лазерная абляция и ионно-лучевое травление рассматриваются в качестве наиболее перспективных методов прецизионной обработки поверхности полупроводников для получения подложек с атомно-гладкой поверхностью и ненарушенной структурой приповерхностного слоя. Разработке этих технологий уделяется особое внимание [4].

## Материалы и методы исследования

В работе исследовались подложки, изготовленные из монокристаллов синтетического алмаза, выращенного методом температурного градиента (НРНТ-алмаз). Подложки имели форму плоскопараллельных пластин с ориентацией (001) и размеры 4x4x0.5 мм. Предварительная шлифовка базовых плоскостей осуществлялась путем обработки на чугуновых дисках, шаржированных алмазным порошком АСН с зернистостью 10/7 мкм. Лазерная обработка поверхности подложек производилась при помощи экспериментальной установки на основе импульсного волоконного лазера Raycus RFL-P50QB/A5/130/3 с модуляцией добротности и сканирующего гальванометра (рис. 1). Волоконный лазер с длиной волны 1.07 мкм имел длительность импульса порядка 200 нс при частоте следования 30 - 60 кГц. Средняя мощность лазерного излучения варьировалась в диапазоне 1-50 Вт. Скорость сканирования лазерного луча могла изменяться в диапазоне от 5 до 1500 мм/с при минимальном шаге сканирования 1 мкм.



1 – волоконный лазер; 2 – блок питания и управления; 3 – сканирующий гальванометр; 4 – контроллер; 5 – оптический блок; 6 – технологическая оснастка для закрепления и перемещения подложки по оси Z; 7 – персональный компьютер

Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки по лазерному полированию поверхности НРНТ-алмазных подложек

Морфология поверхности образцов исследовалась методами профилометрии с использованием профилометра MarSurf

M300C (Mahr, Германия) и атомно-силовой микроскопии (АСМ) с использованием сканирующего зондового микроскопа Solver P47 Pro (NT-MDT, Россия).

## Результаты и их обсуждение

Известно, что лазерная абляция алмаза, как правило, происходит путем графитизации его поверхности за счет комбинированного термического/фотохимического воздействия лазерного излучения с последующей сублимацией и окислением образованного графита [5]. В последнее время появились сообщения о возможности травления поверхности алмаза без образования графитовой фазы [6]. Именно этот режим обработки, получивший название наноабляции, и представляет интерес для финишной обработки поверхности алмазных подложек.

В первой серии экспериментов для используемого в настоящей работе оборудования были определены пороговые значения мощности лазерного излучения (ЛИ), при которых реализуется режим наноабляции. Для этого на поверхности алмазных подложек наносился ряд лазерных «рисок» при однократном проходе лазерного луча с различной мощностью и скоростью сканирования. Размеры абляционных кратеров измерялись методом профилометрии.

Из рис. 2 следует, что при постоянной скорости сканирования с увеличением мощности ЛИ глубина и ширина абляционного кратера увеличиваются, выходя в насыщение при высоких значениях мощности. В зависимости от условий облучения, глубина кратера варьировалась от 0.3 до 15 мкм, а ширина – от 17 до 35 мкм. Для скорости сканирования 5 мм/с критическая мощность ЛИ, при которой не образуется абляционный кратер, составляет ~ 0.5 Вт, а для скорости сканирования 200 мм/с – 10 Вт (рис. 2). Если экстраполировать эти данные на мощность 50 Вт, то получается скорость сканирования ~ 1000 мм/с. При больших скоростях сканирования или меньших мощностях ЛИ, по-видимому, будет реализовываться режим наноабляции.

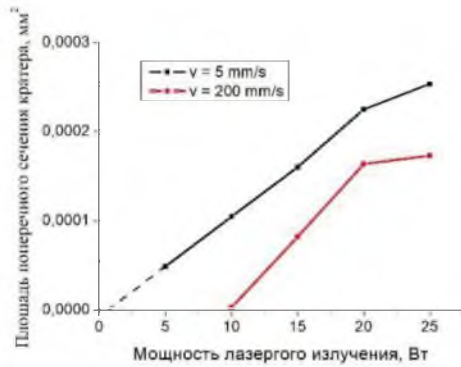


Рис. 2. Зависимости площади поперечного сечения абляционного кратера от мощности лазерного излучения при различных скоростях сканирования лазерного луча

Далее был проведен эксперимент, в котором поверхность НРНТ-алмазной подложки обрабатывалась лазерным лучом мощностью 30 Вт при скорости сканирования 1500 мм/с. Было проведено однократное сканирование поверхности подложки с шагом 1 мкм. Длительность обработки составила ~ 12 с. Графитизация поверхности подложки не наблюдалась.

На поверхности исходной подложки (рис. 3а) наблюдаются четко выраженные «борозды», что говорит об абразивном механизме износа поверхности алмаза при обработке на чугуном диске.

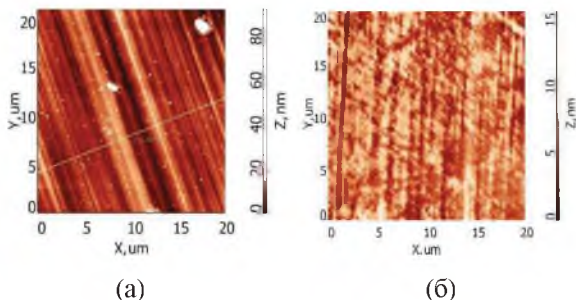


Рис. 3. АСМ-изображение поверхности алмазных подложек до (а) и после (б) лазерной обработки

Глубина этих «борозд» достигает 10 нм (рис. 4, кривая 1). Параметры шероховатости для исходной подложки составляют  $R_a = 2.3$  нм и  $R_q = 3.8$  нм. В результате лазерной обработки происходит сглаживание рельефа поверхности алмазной подложки (рис. 4, кривая 2). Параметры шероховатости уменьшаются до  $R_a = 0.9$  нм и  $R_q = 1.2$  нм.

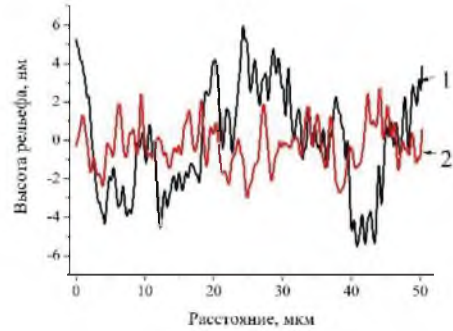


Рис. 4. Полученные методом АСМ профилограммы поверхности алмазных подложек до (1) и после (2) лазерной обработки

## Закключение

В результате проведенных исследований показана возможность суперфинишной полировки поверхности алмаза с использованием импульсного лазерного излучения. Данная технология представляет интерес с точки зрения получения алмазных подложек с атомно-гладкой поверхностью и ненарушенной структурой приповерхностного слоя для изделий оптоэлектронного назначения. Кроме того, эта технология позволяет значительно (на несколько порядков) повысить скорость полировки поверхности алмаза по сравнению с традиционными методами.

## Библиографические ссылки

1. Umezawa H. Recent advances in diamond power semiconductor devices. *Materials Science in Semiconductor Processing* 2018; 78: 147-156.
2. Mi S., Kiss M., Graziosi T., Quack N. Integrated photonic devices in single crystal diamond. *J. Phys. Photonics* 2020; 2: 042001.
3. Schreck M., Asmussen J., Shikata S., Arnault J.-C., Fujimori N. Large-area high-quality single crystal diamond. *MRS Bull.* 2014; 39: 504-510.
4. Luo H., Ajmal K.M., Li W., Yamamura K., Deng H. Polishing and planarization of single crystal diamonds: state-of-the-art and perspectives. *International Journal of Extreme Manufacturing.* 2021; 3(2): 022003.
5. Bradley D.J., Engwell M., Komatsu H. Laser-induced Damage in Diamond. *Nature* 1965; 208(5015): 1081-1082.
6. Кононенко В.В., Комленок М.С., Пименов С.М., Конов В.И. Фотоиндуцированное лазерное травление алмазной поверхности. *Квантовая электроника* 2007; 37(11): 1043-1046.