

# Влияние обработки на морфологию поверхности алмазных пластин для производства изделий оптоэлектроники

К. Курасова

*Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И.*

*Ленина*

Санкт-Петербург, Россия  
chayoon@yandex.ru

Л. А. Кукушкина

*Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И.*

*Ленина*

Санкт-Петербург, Россия  
la.kukushkina@mail.ru

А. В. Соломникова

*Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И.*

*Ленина*

Санкт-Петербург, Россия  
zubann@yandex.ru

В. И. Зубков

*Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В. И.*

*Ленина*

Санкт-Петербург, Россия  
vzubkovspb@mail.ru

**Аннотация**—Исследован набор алмазных образцов с целью подбора оптимального метода обработки их поверхности для последующего применения в приборах электроники. Достаточно длительная обработка алмазных пластин методом ионно-лучевого травления позволила значительно снизить шероховатость и добиться более высокого качества поверхности.

**Ключевые слова**— алмаз, НРНТ, ионно-лучевое травление, полировка, морфология поверхности, АСМ-сканирование.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Благодаря своим уникальным оптическим, электрофизическим и механическим параметрам, алмаз является особенно перспективным материалом для полупроводниковой электроники [1]. Следует отметить широкий спектр алмазных электронных приборов, в том числе оптических: источники и приемники УФ излучения, дозиметры и датчики ионизирующих излучений различного типа [2]. Фотоприемники на алмазе, в том числе, могут быть основой систем дистанционного зондирования земли [3]. Однако, высокая прочность и твердость (56 - 257 ГПа [4]) является не только ценной характеристикой алмаза, но и недостатком для применения в масштабном производстве электронных структур и приборов, так как затрудняет использование традиционных для полупроводниковых производств методов обработки поверхности. Для применения в электронике качество поверхности должно быть высоким, поверхностный слой - без дефектов. В настоящее время рассматриваются альтернативные, немеханической методы обработки алмазных пластин: химико-механическая полировка, термохимическая полировка, лазерная обработка, ионно-лучевое травление, плазмохимическое травление и обработка в электрическом разряде [5]. Таким образом, важной задачей является определение наиболее подходящего способа обработки поверхности алмаза и оптимизация параметров для получения пластин высокого качества.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОБРАЗЦЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

В данной работе были исследованы три алмазных пластины, вырезанные из монокристаллов, выращенных методом высокого давления и температуры (НРНТ). Образец №1 представляет собой бесцветную пластину размером 4x5 мм, толщиной 0.5 мм. Явных дефектов поверхности через камеру микроскопа не наблюдается. Образец №2 также является бесцветной пластиной размером 2x2 мм, толщиной 0.5 мм. Образец №3 представляет собой желтую прямоугольную пластину размером 3x3 мм, толщиной 1 мм. Желтый оттенок, в данном случае, пластина приобретает в результате наличия глубокой примеси азота, что подробно описано в [6]. На поверхности образцов присутствуют макрозагрязнения, оставшиеся после первоначальной механической обработки – шлифовки и полировки. В качестве немеханического способа обработки поверхности было выбрано ионно-лучевое травление с вариацией времени облучения.

Морфология поверхности полученных образцов до и после обработки исследовалась на автоматизированном сканирующем зондовом микроскопе SolverNEXT (NT-MDT, Москва). АСМ-сканирование проводилось зондами с алмазным покрытием в полуконтактном режиме.

Для обеспечения высокого качества получаемых сканов были подобраны оптимальные параметры: амплитуда колебаний кантилевера – 3.1 нм, коэффициент усиления обратной связи – 0.5, количество точек в строке – 300. Сканирование проводилось с варьированием площади сканирования. Каждый образец измерялся как минимум в трех различных областях для получения статистически верной картины.

Математическая обработка полученных изображений включала в себя определение следующих параметров: размах высот, средняя квадратичная шероховатость (RMS).

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Образцы подвергались обработке ионно-лучевым травлением в течение 10 минут, затем 30 минут. После кратковременного десятиминутного воздействия исчезли крупные загрязнения поверхности. Значение средней квадратичной шероховатости снизилось у образца №1 с 7.6 нм до 7.1 нм, у образца №3 с 15.3 нм до 12 нм при площади сканирования 30 на 30 мкм. Результаты дальнейшей обработки в течение 30 минут оказались различными для каждого образца. Морфология поверхности образца №1 заметно улучшилась: значение RMS снизилось до 3.3 нм. Аналогичные результаты наблюдались на поверхности образца №2: значение RMS снизилось с 4.9 нм до 2.4 нм. На поверхности образца №3 даже после тридцатиминутной обработки остались заметные неоднородности. Было принято решение подвергнуть образец №3 повторной обработке ионно-лучевым травлением, увеличив длительность процесса до одного часа, что позволило снизить значение RMS до 1.2 нм. На рисунках 1 и 3 приведены АСМ-сканы образцов №1 и 3 до обработки. На рисунках 2 и 4 приведены АСМ-сканы результатов финального этапа обработки образцов №1 и 3 соответственно.

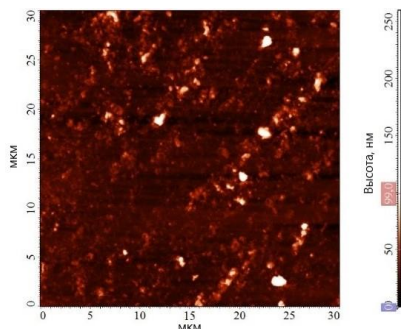


Рис. 1. Морфология поверхности образца №1 до обработки

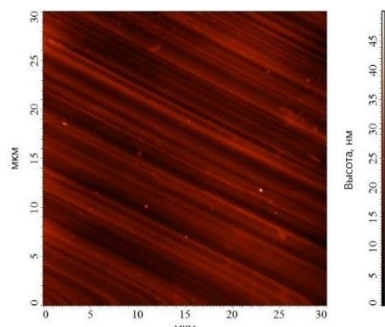


Рис. 2. Морфология поверхности образца №1 после 30-минутной обработки

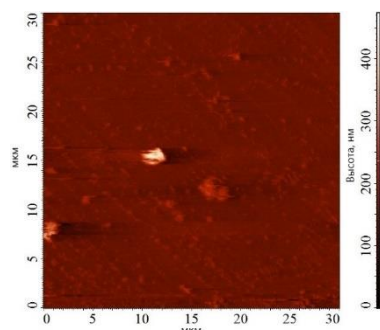


Рис. 3. Морфология поверхности образца №3 до обработки

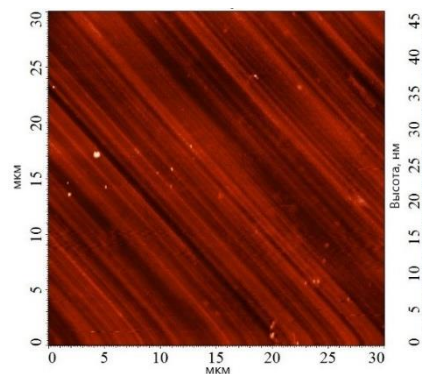


Рис. 4. Морфология поверхности образца №3 после часовой обработки

### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование традиционных для полупроводниковых производств методов обработки поверхности для монокристаллического алмаза оказывается неэффективным вследствие его высокой твердости. В данной работе исследовались алмазные пластины с целью подбора оптимального метода обработки их поверхности и длительности процесса. Механическая шлифовка и полировка, вследствие большой остаточной шероховатости поверхности, подходит исключительно для первоначальной обработки образцов. Показано, что ионно-лучевое травление в течение десяти минут позволяет убрать крупные неровности с поверхности образцов. Увеличение времени воздействия до тридцати минут позволяет значительно снизить значения средней квадратичной шероховатости поверхности образцов №1 и 2. Образец №3 потребовал дополнительной обработки в течение часа для достижения высокого качества поверхности (как у образцов №1 и 2). Таким образом, можно утверждать, что ионно-лучевое травление может быть успешно использовано для обработки поверхности монокристаллического алмаза.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Wort, C.J.H. Diamond as an electronic material / C.J.H. Wort, R.S. Balmer // *Materials Today*. – 2008. – Vol. 11(1-2). – P. 22-28.
- [2] Тарелкин, С.А. Исследование слоистых структур на основе легированных бором монокристаллов алмаза для применения в полупроводниковой электронике / С.А. Тарелкин // Дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М., 2019. – 132 с.
- [3] Селиванов, А.С. Активный ультрафиолетовый солнечный датчик для системы ориентации малоразмерного космического аппарата / А.С. Селиванов, И.А. Морозов, Ю.М. Гектин, Н.П. Пузаков // Пат. 0002525634 Российская Федерация.
- [4] Blank, V. Mechanical properties of different types of diamond / V. Blank, M. Popov, G. Pivovarov, N. Lvova, S. Terentev // *Diamond and related materials*. – 1999. – Vol. 8 – P. 1531-1535. DOI: 10.1016/S0925-9635(99)00079-5.
- [5] Хмельницкий, Р.А. Синтетический алмаз для электроники и оптики: учебник / Р.А. Хмельницкий, Н.Х. Талипов, Г.В. Чучева. – ЗАО «Издательство ИКАР», 2017.
- [6] Baranauskas, V. Nitrogen-doped diamond films / V. Baranauskas, B.B. Li, A. Peterlevitz, M.C. Tosin, S.F. Durrant // *Journal of Applied Physics*. – 1999. – Vol. 85(10). – P. 7455-7458. DOI: 10.1063/1.369378.