

# Применение оптической профилометрии для контроля качества термохимической обработки подложек на основе алмаза для микроэлектроники

А.В. Дерябкин<sup>1</sup>, Е.Н. Куликов<sup>1</sup>, Ю.Ю. Фёдоров<sup>1</sup>, В.А. Шепелев<sup>2</sup>, В.С. Фещенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО «НПП «Исток» им. Шокина»

<sup>2</sup> РТУ МИРЭА

**Аннотация:** Работа посвящена изучению возможности внедрения оптической профилометрии в технологию создания алмазных изделий для применения в микроэлектронике. В последнее время уделяется всё больше внимания алмазу в качестве перспективного материала для применения в микроэлектронике, а также различным методам обработки его поверхности. В работе представлены результаты исследования поверхностей моно- и поликристаллических HPHT и CVD алмазных подложек. Образцы подложек подвергались термохимической обработке. Полученные данные позволили уточнить сведения о характере обработки и оценить её качество.

**Ключевые слова:** алмаз, профилометрия, оптический профилометр, обработка поверхности, шероховатость.

## 1. Введение

В настоящее время идёт усиленный поиск альтернативных материалов и методов их обработки для применения в микроэлектронике. Особое внимание уделяется алмазу. Благодаря его уникальным свойствам: большая ширина запрещённой зоны, высокая подвижность и малое время жизни носителей заряда, высокое сопротивление и электрическая прочность, высокая температурная и радиационная стойкость, химическая инертность, высокая скорость звука, низкое акустическое затухание, широкий диапазон пропускания излучения и т.д.

Несмотря на успехи в создании устройств на основе алмаза, возникает ряд проблем, связанных с обработкой поверхности, которые замедляют прогресс в алмазном приборостроении. Это обуславливает внедрение различных методов обработки поверхностей алмазных пластин, помимо механической [1].

Очень перспективным методом обработки алмазных материалов является термохимическая шлифовка поверхности алмазных пластин [2,3]. Термохимическая шлифовка основана на взаимодействии алмаза с металлами при высокой температуре и преобразовании алмаза в графит, сопровождаемым диффузией углерода в металл. Шероховатость полученной поверхности алмаза зависит от класса чистоты поверхности металла (железа, никеля). Данные способы обработки позволили получать шероховатость поверхности алмаза от 0,3 до 1,5 мкм.

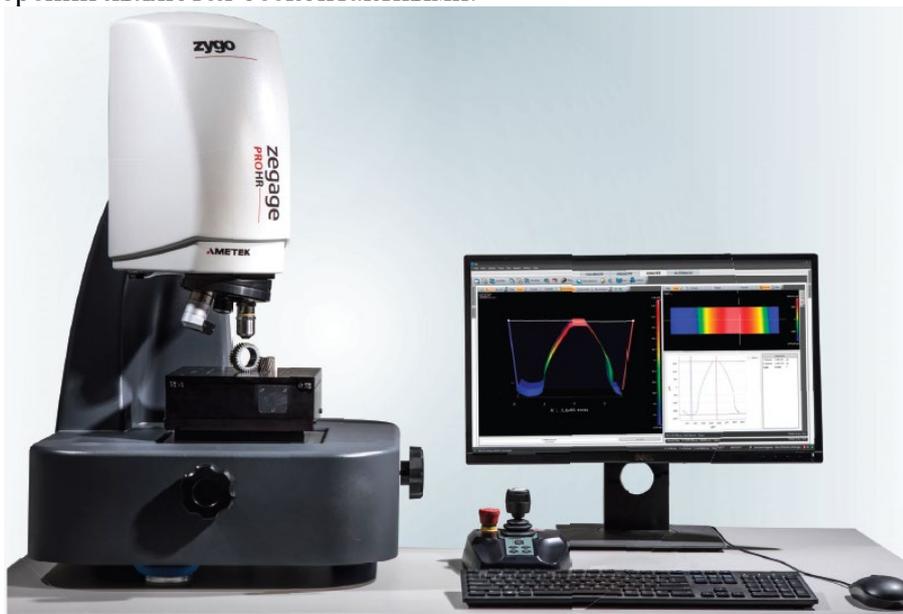
В качестве метода контроля качества обработки используют различные методы измерения параметров поверхностей (шероховатость, отклонения от плоскостности, размеры определённых участков и т.д.).

## 2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

Целью данной работы является изучение возможности использования оптической профилометрии в технологии создания алмазных изделий для применения в микроэлектронике.

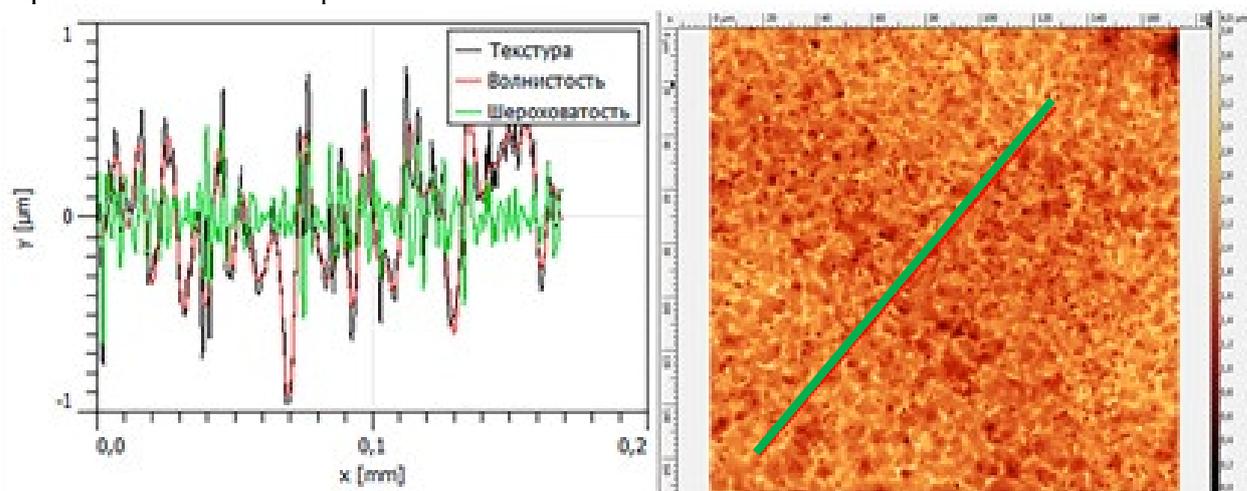
Для измерения параметров рельефа поверхностей пластин, использовался оптический профилометр Zygo ZeGage Pro HR (рис. 1). В его основе – интерферометрическая система,

дополненная системой сканирования и алгоритмами управления и обработки данных. Методы измерений являются бесконтактными.



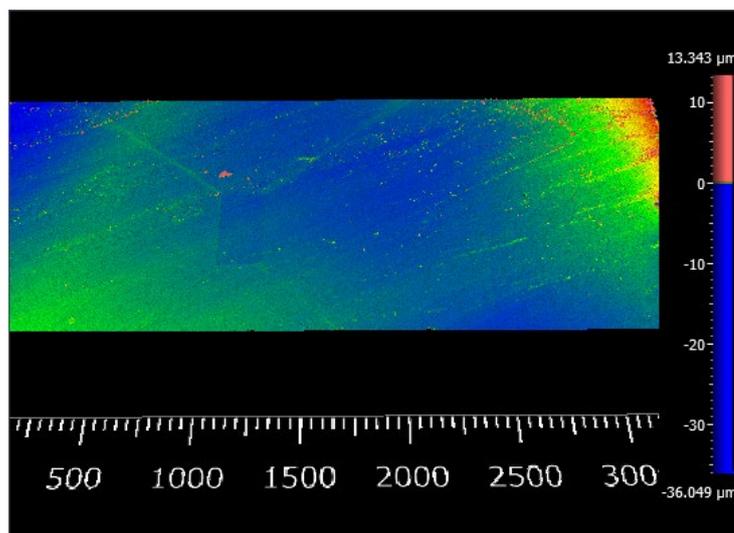
**Рисунок.1.** Оптический профилометр Zygo ZeGage Pro HR.

Измерения проводились на пластинах синтетического алмаза, выращенного методом НРНТ (высокого давления и высокой температуры), поверхность которых подверглась термохимической шлифовке.



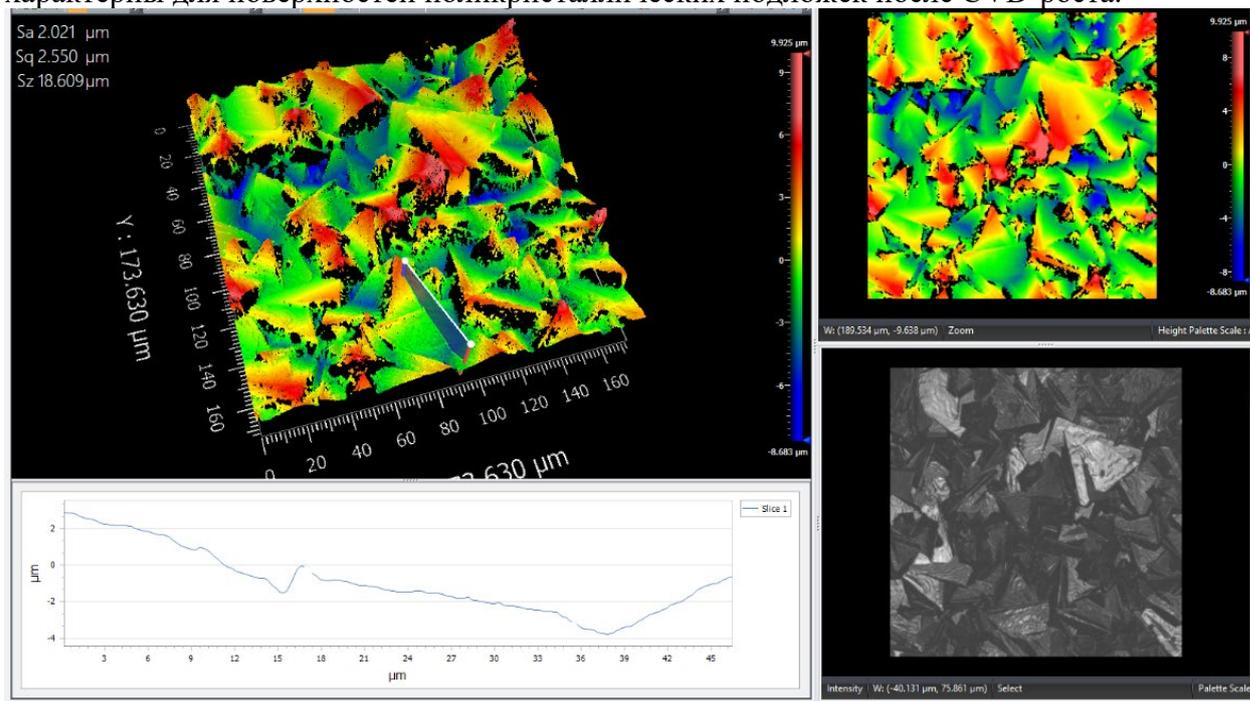
**Рисунок 2.** Результаты измерений параметров макрогеометрии алмазных пластин после термохимической шлифовки.

На другом примере можно выявить некоторые особенности рельефа с характерными очертаниями – границы секторов роста, или участков с разной кристаллографической ориентацией (рисунок 3). Явление обусловлено тем, что разные участки по-разному поддаются обработке, а их границы влияют на результат полировки. Это полезно выявлять для составления общей картины и цифровых двойников.



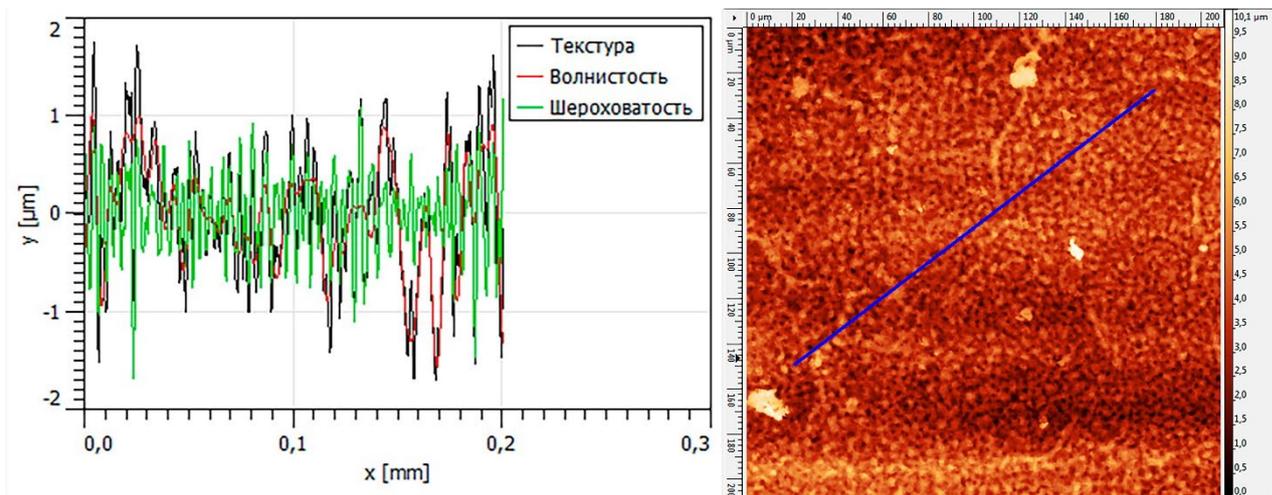
**Рисунок 3.** Участок профилограммы многосекторной алмазной пластины.

Кроме того, в работе получена профилограмма участка поликристаллической подложки CVD алмаза (рисунок 4). Из полученных данных видно, что размер кристаллических зёрен составил приблизительно 20 мкм, они имеют октаэдрический габитус, а параметр шероховатости – среднее арифметическое отклонение профиля по площади,  $S_a - 2,021$  мкм. Данное, относительно высокое значение обусловлено размером зёрен и отсутствием обработки поверхности. Высокие значения параметров шероховатости характерны для поверхностей поликристаллических подложек после CVD-роста.



**Рисунок 4.** Результаты измерений параметров шероховатости поликристаллической CVD алмазной подложки.

После проведения термохимической шлифовки при температуре 1110 °С профилограмма изменилась (рисунок 5).

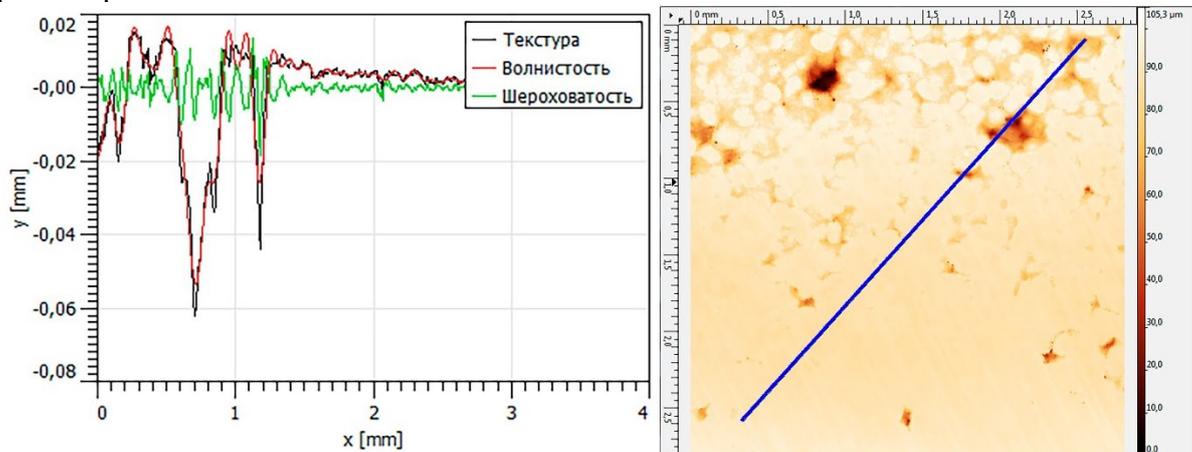


**Рисунок 5.** Профилограмма поликристаллической CVD алмазной подложки после процесса термохимической обработки.

Обработанный образец характеризуется макроскопически гладкой поверхностью, со слабовыраженной штриховкой. Поверхность состоит из сглаженных округлых бугорков, отличимо микропористое строение. Шероховатость поверхности  $R_a$  составляет порядка 0.5 мкм.

Было также проведено исследование качества поверхности композиционного материала «Скелетон» после проведения планаризации поверхности методом термохимической обработки [4].

Результаты приведены на рисунке 6. Видно, что величина шероховатости поверхности составляет менее 2 мкм, что вполне достаточно для ряда применения этого материала в микроэлектронике.



**Рисунке 6.** Профилограмма качества поверхности композиционного материала «Скелетон» после проведения двухстадийной планаризации поверхности методом термохимической обработки [4]

### 3. Заключение

Таким образом, показана перспективность использования оптической профилометрии для контроля качества поверхности подложек на основе алмаза после термохимической обработки поверхности.

#### Список литературы

1. Xiao C., Hsia F.-C., Sutton-Cook A., Weber B., Franklin S., Polishing of polycrystalline diamond using synergies between chemical and mechanical inputs: A review of mechanisms and processes, Carbon (2022), 196, 29.

2. Хмельницкий Р.А., Талипов Н.Х., Чучева Г.В., Синтетический алмаз для электроники и оптики (Издательство ИКАР, Москва, 2017)
3. Духновский М.П., Ратникова А.К., Федоров Ю.Ю., Кудряшов О.Ю., Леонтьев И.А. Термическая обработка поликристаллического CVD – алмаза с целью формирования гладкой поверхности//Электронная техника. Серия 1. СВЧ электроника. 2008. Вып. 2(495). С. 41 – 46.
4. Дерябкин А.В., Куликов Е.Н., Фёдоров Ю.Ю., Гордеев С.К., Корчагина С.Б. Исследование процесса термохимической обработки поверхности композиционного материала алмаз – карбид кремния – кремний // Сборник докладов XII Всероссийской научно-технической конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ». – 2023. – с. 398 – 401.