

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРИЕНТАЦИЯ КРИСТАЛЛОВ В НАПЫЛЕННОМ СЛОЕ ТИТАНА

Хапов А.С., Поротников Л.К., Чеканов С.В., Военнов А.В.

Всероссийский – научно – исследовательский институт автоматики им.
Н.Л. Духова, г.Москва, Россия, vnii4@vnii4.ru

Аннотация

В работе проведена оценка влияния нанообъектового состояния поликристаллического агрегата титана на его сорбционные свойства. Проведен анализ использования новых сплавов в качестве материала сорбента водорода. Рассмотрена новая линейка перспективных многокомпонентных сплавов на базе титана. В качестве сорбента водородосодержащего материала использовали различные комбинации легирующих элементов Al, V, Nb, Zr с основой сплава – титаном.

1. Введение

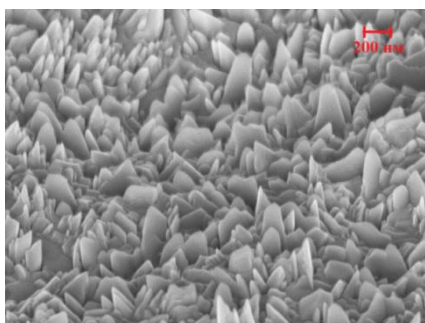
Архитектурный дизайн материалов представляет собой возможность формирования заданного структурного состояния материала [1]. В настоящее время к материалам выдвигаются все более серьезные требования по их свойствам и характеристикам.

Для получения гидридообразующих покрытий с заданными свойствами, в работе использованы методы напыления с различными физическими принципами, такие как метод электроннолучевого, магнетронного и ионного напыления. Изучены различные режимы и выбраны оптимальные варианты для поставленной цели.

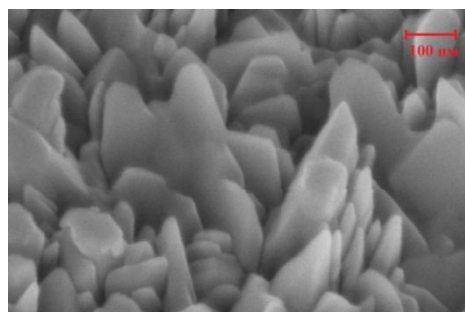
2. Эксперимент

На поверхность полированных и не полированных дисков из поли- и монокристаллического молибдена напыляли слой титана марки ВТ1–0. Одним из основных преимуществ данного метода является высокая чистота процесса напыления, без переноса примесей на наносимую пленку. В данном методе эффективно реализуется автотигельное испарение материала, поэтому он обеспечивает высокую чистоту и однородность осаждения [2].

Общий вид поверхности образца с увеличенной толщиной слоя сорбента. Граница переходной зоны имеет заметный рельеф, напоминающий ступеньку. Увеличение толщины напыленного слоя позволило более подробно изучить структуру Ti. Благодаря такой толщине, на образце замечено сильное развитие поверхности, выражающееся в образовании кристаллитов, изображенных на рисунке 1. Кристаллиты имеют "чешуйчатую" форму, то есть небольшую толщину с гораздо большими размерами в двух других измерениях.



а) x75000



б) x270000

Рисунок 1 - Топологические особенности поверхности образца с напыленным слоем при разных увеличениях

Путем операции ионного травления структура титана была исследована более подробно, чем это позволяют стандартные образцы с тонким слоем сорбента. На рисунке 2 наблюдаются строго упорядоченные кристаллы (субзерна) титана, растущие от подложки.

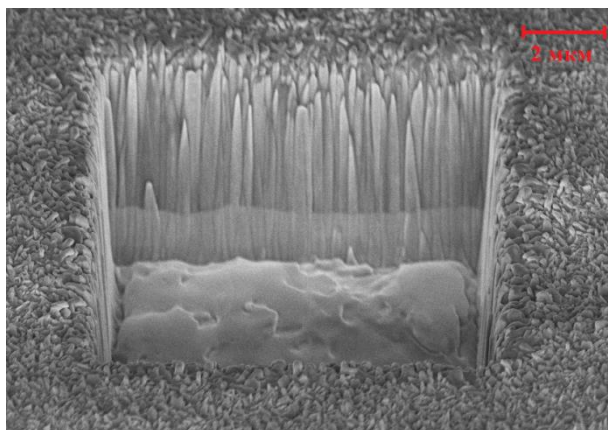
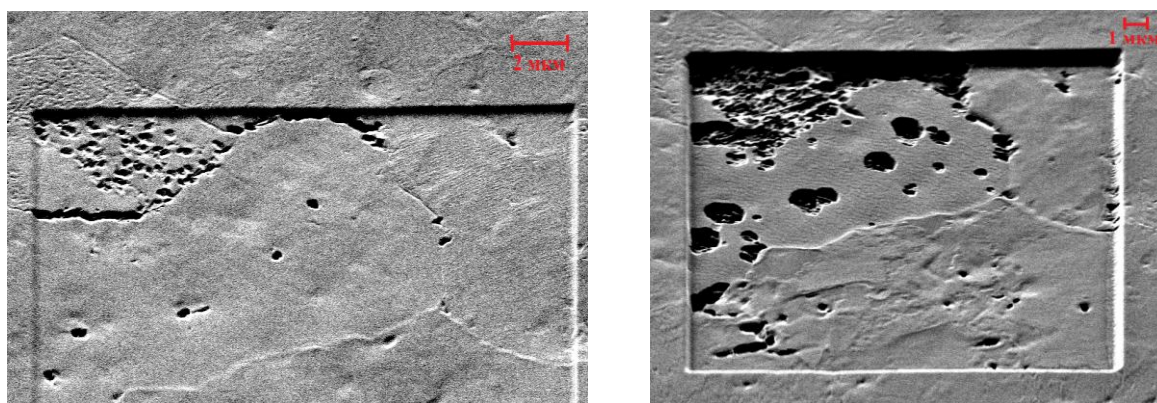


Рисунок 2 - Расположение кристаллов (субзерен) титана в пленке

Данный эксперимент позволил описать структуру напыленного слоя титана, а также варьируя режимы напыления и дальнейшей термической обработки установить связь с сорбционными характеристиками

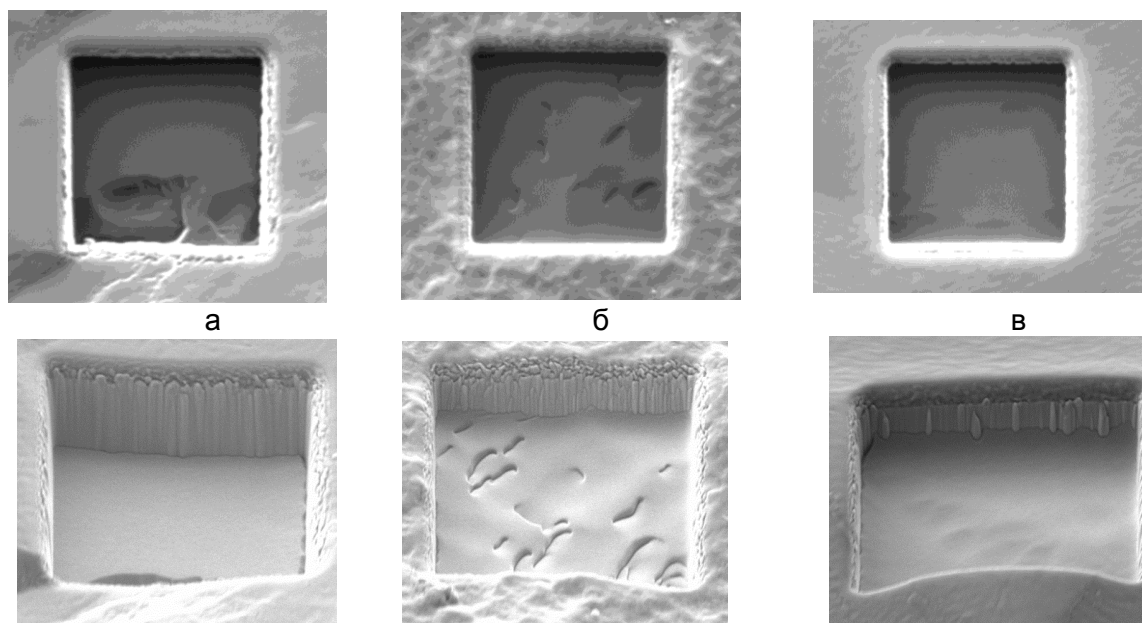
С целью дополнительного подтверждения наследования структуры проведено локальное послойное травление участка покрытия. На рисунке 3 (а) продемонстрирована идентичность поверхностной и внутренней структуры покрытия.



а – поверхностная структура пленки; б – внутренняя структура покрытия
Рисунок 3 - Локальное ионное травление образца

Из изображения следует, что при одинаковых режимах ионного травления, кристаллиты (субзерна) материала травятся по-разному. Данный эффект может быть связан с отличающимися значениями коэффициентов распыления разноориентированных зерен. В некоторых участках процесс травления достиг подложки и зерен молибдена, а на каких-то участках еще присутствует напыленный слой титана. Дальнейшее травление позволяет визуализировать структуру подложки как показано на рисунке 3 (б), которая идентична структуре покрытия, демонстрируемой ранее.

В работе проведен качественный эксперимент по локальному распылению материала у вышеописанных образцов трёх ориентаций в фиксированных условиях травления и при одинаковых параметрах наблюдения в микроскопе с целью подтверждения гипотезы о разной скорости и величине распыления каждой из ориентаций. На рисунке 4 представлены результаты травления (глубина h полученной ямки) методом ионного облучения.



а – $\{110\}$ $h = 3,650$ мкм; б – $\{100\}$ $h = 2,186$ мкм; в – $\{111\}$ $h = 2,047$ мкм

Рисунок 4 – Исследование эффекта распыления и способности выхода обратных электронов у поверхностей трёх выбранных ориентаций

На представленных данных видно, что у образца $\{110\}$ наиболее темная область поверхности, что означает меньший выход вторичных электронов, также на рисунке 4 (а) и (б) можно наблюдать различные характерные рельефы травленных поверхностей. Причиной могут быть выходы дислокаций на поверхность, которые при травлении образуют своеобразные ямки. Причем как видно на рисунке, дислокаций больше всего в образце $\{100\}$, в то время как в $\{111\}$ они почти не наблюдаются. Различие в общем виде ямок образцов $\{110\}$ и $\{100\}$ может быть связано с геометрическим расположением дислокаций (параллельно или перпендикулярно поверхности).

3. Выводы

В ходе выполнения работы установлено: кристаллографические плоскости имеют разные коэффициенты ионного распыления вследствие различной плотности их упаковки (~50%); плоскость $\{100\}$ для данного технологического процесса является основной плоскостью выхода дислокаций; связь кристаллографической ориентации с интенсивностью выхода вторичных электронов. Установлено, что зернограничная диффузия контролирует кинетику многих микроструктурных изменений, фазовых превращений.

Литература

1. Физическое материаловедение: Учебник для вузов. В 7 т. / Под общей ред. Б.А. Калина / 2 –е изд. перераб.– М.: НИЯУ МИФИ, 2012. Том 5. Материалы с заданными свойствами. / М.И. Алымов, Г.Н. Елманов, Б.А. Калинин, А.Н. Калашников, А.А. Полянский, А.В. Шульга. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 672 с.
2. Глезер А.М., Фирстов С.А., Шурыгина П. А., Столяров В.Л. Теоретическая прочность и зернограничный дизайн нанокристаллов / Доклад на 60 Международной научной конференции «Актуальные проблемы прочности», г. Витебск, 2018 г. – Витебск.: ВГТУ. – 596 с.