

**УДК 546.824-31**  
**ПОЛУЧЕНИЕ ДИОКСИДА ТИТАНА С ПОМОЩЬЮ**  
**КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ**

**Ю.Н. Вымпина, аспирант, А8-45, 1 курс**

**Д.А. Нанзанов, студент, 5А6Д, 3 курс**

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск

Разработка материалов с новыми, улучшенными характеристиками имеет непосредственную связь с синтезом наноструктур. Благодаря своим оптическим, фотокаталитическим, антикоррозионным и антимикробным свойствам диоксид титана ( $\text{TiO}_2$ ) всё чаще находит своё применение в области микроэлектроники, фотокатализа, медицины и т.д. [1-3].

Наиболее известными метастабильными модификациями диоксида титана являются анатаз, рутил и брукит. По литературным данным, анатаз является более предпочтительным по сравнению с другими модификациями с практической точки зрения, так как может быть синтезирован только в виде мелкой фракции. Главным преимуществом наночастиц по сравнению с микрочастицами является большая вероятность выхода зарядов на поверхность катализатора. Это объясняется тем, что УФ-свет частицы  $\text{TiO}_2$  может проникать на глубину не больше  $\sim 100$  нм, поэтому активной частью является внешняя поверхность [4]. В связи с этим делаем вывод, что структура наноразмерных частиц  $\text{TiO}_2$  приводит к его увеличению фотокаталитической активности.

Целью данной работы является получение ультрадисперсного порошка диоксида титана плазмодинамическим методом. Преимуществами данного метода являются быстрота ( $10^{-3}$  с), отсутствие необходимости дозированной подачи исходного материала, а также его предварительной подготовки. Стоит отметить, что получение наноматериалов реализуется в атмосферных условиях.

Плазмодинамический синтез  $\text{TiO}_2$  реализуется в системе, базовым элементом которого является импульсный сильноточный высокотоковый коаксиальный магнитоплазменный ускоритель (КМПУ) с титановыми электродами, схема которого представлена на рисунке 1. Питание КМПУ осуществляется от секционированного емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) с ёмкостью до  $C_{\text{зар}}=28,8$  мФ и зарядным напряжением до  $U_{\text{зар}}=5$  кВ.

Принцип действия данной установки заключается в следующем. При замыкании силовых ключей по контуру начинает протекать нарастающий ток. Спустя некоторое время он достигает своего критического значения, что ведёт к образованию плазменной структуры внутри ускорительного канала (УК). По мере передвижения струи происходит электроэрозионный износ ствола, эродированный материал поступает в плазму, тем самым осуществляется

наработка основного материала – титана. Истечение гиперсверхзвуковой плазменной струи происходит в герметичный объём камеры-реактора, наполненной газообразной смесью кислород/аргон ( $O_2/Ar$ ). Эксперимент проводился при следующих условиях:  $C_{зар}=14,4$  мФ,  $U_{зар}=2,5$  кВ, энергия заряда  $W_c=45$  кДж, длина ствола  $l_{ук}=230$  мм, диаметр ствола  $d_{ук}=12$  мм, соотношение  $O_2/Ar$  – 1:1, давление в камере  $P=1$  атм.

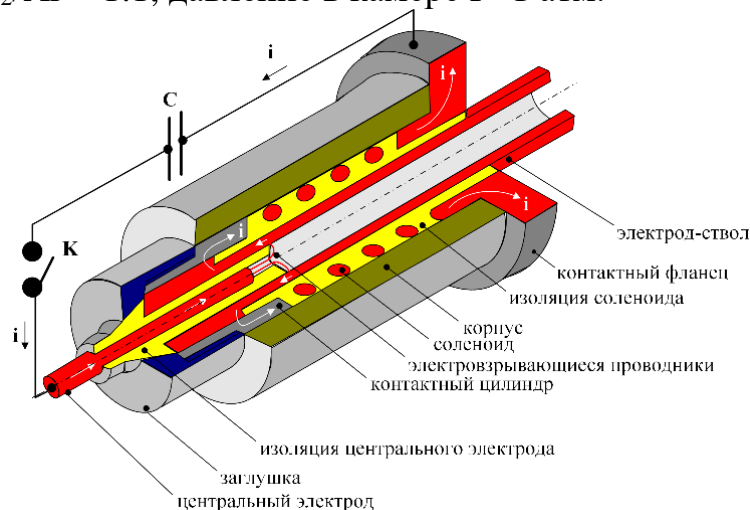


Рисунок 1 – Устройство КМПУ

Для измерения быстроизменяющегося напряжения на электродах КМПУ используются омические делители напряжения. Снятие характеристики разрядного тока осуществляется с помощью трансформатора Роговского. Сигналы тока и напряжения регистрируются на осциллографах Tektronix TDS2012. Видно, что максимальные значения напряжения и тока достигают до 0,7 кВ и 138 кА соответственно. Эти значения не постоянны, зависят от ёмкости и напряжения ЕНЭ: чем выше зарядное напряжение, тем больше ток разряда и напряжение на электродах ускорителя; изменяя величину ёмкости, возможно, регулировать время процесса импульса. На рисунке 2 представлены осциллограммы тока и напряжения, регистрируемые цифровыми осциллографами.

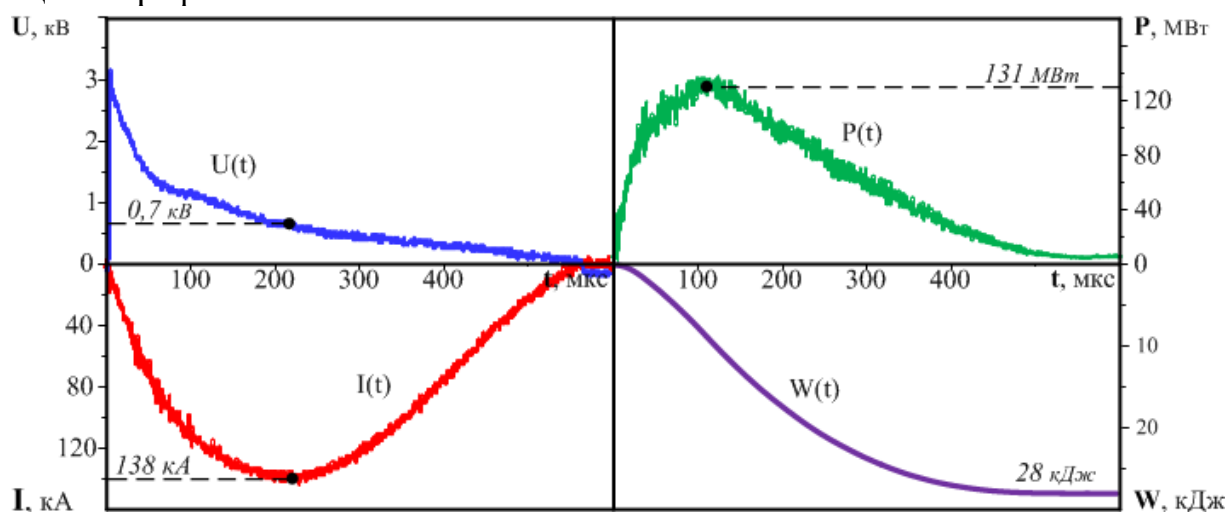


Рисунок 2 – Типичные осциллограммы напряжения на электродах  $u(t)$  и тока  $i(t)$ , мощности разряда  $P(t)$ , энергии разряда  $W(t)$

Благодаря регистрации тока и напряжения возможно оценить мощность плазменного разряда:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t).$$

Интегрирование кривой мощности разряда  $p(t)$  позволяет определить величину подводимой к ускорителю энергии:

$$W = \int p(t) \cdot dt.$$

Определение фазового состава порошка, полученного в ходе эксперимента, проводилось методом рентгенофазового анализа. На рисунке 3 представлены рентгеновская дифрактограмма синтезированного продукта, полученного с помощью рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD 7000S (Cu-K $\alpha$ ), а также карточки предполагаемых фаз. Полнопрофильный анализ продукта проводился с использованием программы «PowderCell2.4» и базы структурных данных PDF4+, результаты которого представлены в таблице 1. Отмечено присутствие двух модификаций TiO $_2$ : анатаз (пространственная группа 141/amd, № 21-1272) с тетрагональной сингонией (a=b=3,7852 Å; c=9,5139 Å) и рутил (пространственная группа P42/mnm, № 21-1276) также с тетрагональной сингонией (a=b=4,5933 Å; c=2,9592 Å). Стоит отметить, что размер областей когерентного рассеивания (ОКР) образовавшихся фаз составляет менее 100 нм, что свидетельствует о нанодисперсности полученного продукта.

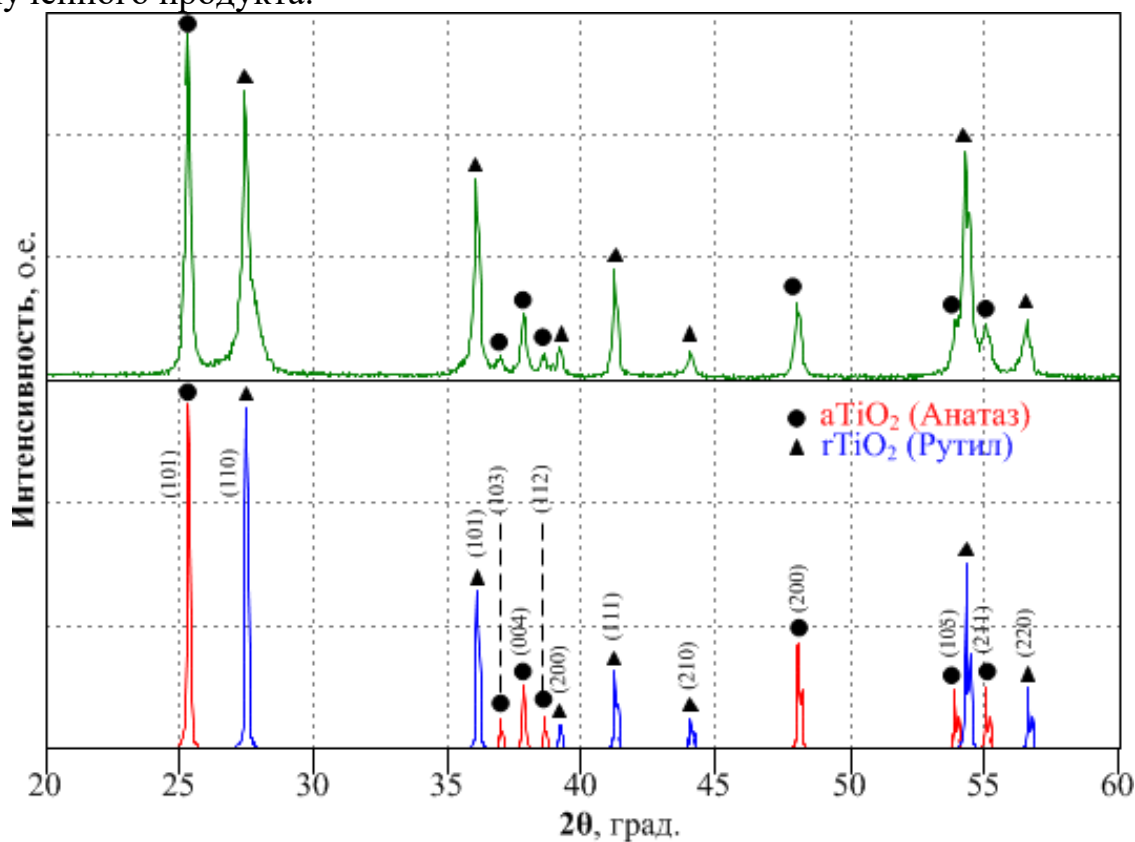


Рисунок 3 – Рентгеновские дифрактограммы полученного продукта и карточек предполагаемых фаз

Таблица 1 – Данные рентгенофазового анализа

Фаза, прост. группа	Содержание, % (масс.)	ОКР, нм	$\Delta d/d \cdot 10^3$	Параметры решётки, Å Расчёт/PDF, Å
TiO <sub>2</sub> (анатаз) 141/amd	59	78,56	2,134	a: 3,7844/3,7852 c: 9,5024/9,5139
TiO <sub>2</sub> (рутил) P42/mnm	41	32,9	1,067	a: 4,5920/4,5933 c: 2,9578/2,9592

Приведённые выше результаты показывают возможность получения нанодисперсного порошка диоксида титана при помощи гиперскоростной струи в электроразрядной плазме. Установлено, что в синтезированном продукте имеются 2 фазы TiO<sub>2</sub>: анатаз с тетрагональной сингонией и рутил с такой же сингонией. Стоит отметить отличия параметров решётки идентифицированных фаз от стандартных значений. Это обусловлено неравновесностью и высокой динамичностью процесса синтеза и кристаллизации, сравнимых лишь с процессами детонационного синтеза.

#### Список литературы:

1. Lee B. et al. All-solid-state dye-sensitized solar cells with high efficiency //Nature. – 2012. – Т. 485. – №. 7399. – С. 486.
2. Huang H. H. et al. Osteoblast-like cell initial adhesion onto a network-structured titanium oxide layer //Scripta Materialia. – 2004. – Т. 51. – №. 11. – С. 1017-1021.
3. Lilja M. et al. Photocatalytic and antimicrobial properties of surgical implant coatings of titanium dioxide deposited though cathodic arc evaporation //Biotechnology letters. – 2012. – Т. 34. – №. 12. – С. 2299-2305.
4. Anandan S., Ikuma Y., Niwa K. An overview of semi-conductor photocatalysis: modification of TiO<sub>2</sub> nanomaterials //Solid State Phenomena. – Trans Tech Publications, 2010. – Т. 162. – С. 239-260.