

## КИНЕТИКА НА ИЗРАСТВАНЕ И ОПТИЧНИ СВОЙСТВА НА Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> СЛОЕВЕ, ПОЛУЧЕНИ ЧРЕЗ НИСКОТЕМПЕРАТУРНА ОКСИДАЦИЯ НА Ta

КАТЯ ВАРБЛЯНСКА, ПЛАМЕН ГЪРДЕВ

*Лаборатория по физика и техника на полупроводниците*

*Катя Варблянска, Пламен Гърдев.* КИНЕТИКА НА ИЗРАСТВАНЕ И ОПТИЧНИ СВОЙСТВА НА Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> СЛОЕВЕ, ПОЛУЧЕНИ ЧРЕЗ НИСКОТЕМПЕРАТУРНА ОКСИДАЦИЯ НА Ta

Проведено е нискотемпературно частично оксидиране при 350°C и 400°C на високочестотно-магнетронно разпращен танталов слой в атмосфера на сух и наситен с водни пари кислород. Нискотемпературният режим е съобразен с нестабилността на интерфейса Ta-GaSb при производство на шотки-фотодиодни структури. Изследвани са дебелината, структурата и оптичните свойства на слоя Ta+Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в зависимост от температурата на оксидиране ( $T_{ox}$ ), времето на оксидиране ( $t_{ox}$ ) и средата.

*Katia Varblianska, Plamen Gardev.* GROWTH KINETICS AND OPTICAL PROPERTIES OF Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> LAYERS PRODUCED BY LOW TEMPERATURE OXIDIZATION OF TA

Low temperature partial oxidation at 300-400°C of RF-magnetron sputtered Ta in an ambient of dry and saturated with water vapors oxygen is conducted. The low temperature process is consistent with the Ta-GaSb interface instability during the Schottky photodiode structures preparation. The thickness of the Ta+Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> structure and its optical characteristics as function of the oxidation temperature, oxidation time and oxidation ambient are investigated.

**Keywords:** thin films, oxides, optical transmission

**PACS numbers:** 73.61.At; 85.30.-z

## 1. УВОД

Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> е предпочитан диелектрик пред SiO<sub>2</sub> и SiN за производството на кондензатори, гейтове и интегрални схеми заради високата си диелектрична константа (повече от 25). Едно по-нестандартно приложение на частично оксидиран танталов слой, нанесен върху GaAs и Si, е описано в [1,2]. По принцип полупроводниците от типа АЗВ5 изискват по-ниско-температурни процеси на обработка при производството на уреди поради нестабилността на интерфейса метал–полупроводник [3, 4]. Например Ta/GaSb шотки-баристри (ШБ) на частично оксидиран, полупрозрачен Ta-слой (използвани във фотодиодни структури) изискват снижение на долната граница на температурния диапазон на оксидиране от гледна точка на стабилността на интерфейса метал/GaSb, а именно 350÷400°C. При тези температури на оксидиране е изследвана зависимостта на дебелината, структурата и оптичните свойства на оксида от средата на оксидиране – сух кислород и кислород, наситен с водни пари. До този момент експериментите са провеждани в атмосфера на сух въздух.

## 2. ПОЛУЧАВАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТАНТАЛОВИЯ ОКСИД (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

**Подготовка на подложката.** За подложка се използва кварц, полиран оптично за получаване на максимална плоскопаралелност. Преди нанасянето на слоевете от Ta, подложката се обезмаслява.

**Нанасяне на танталовия слой.** Танталовият слой се нанася чрез катодно-магнетронно разпрашване (КМР) с установка LEYBOLD-HERAUS-Z300, като се изпълнява следната технологична последователност:

- йонно ецване на подложката в продължение на 2 min при налягане  $p = 9 \cdot 10^{-3}$  mbar, ток  $I = 60$  mA и напрежение  $U = 480$  V;
- скоростта на разпрашване е 0,5 nm/sec.

**Оксидиране на танталовия слой.** Оксидирането на образците се извършва в малоинерционна пещ при два режима на осигуряване на газова среда:

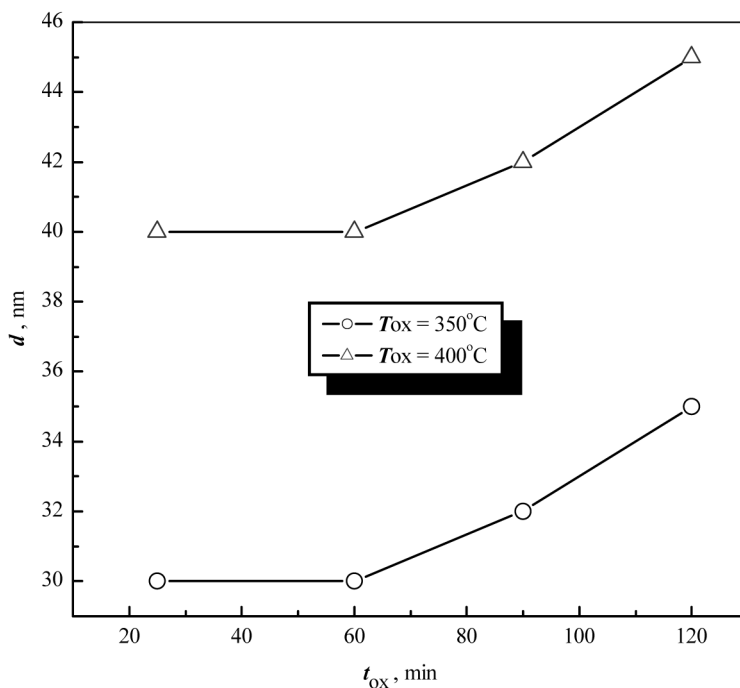
- режим А – поток сух кислород (O<sub>2</sub>) с дебит 0,250 l/min;
- режим В – поток сух кислород с дебит 0,250 l/min, барбутиращ през дейонизирана вода, като цялата барбуторна система се загрява във водна баня до температура 97 °C.

**Изследване на получените оксидни слоеве.** Изследвани са два показателя:

- измерване дебелината ( $d$ ) на получената структура  $Ta+Ta_2O_5$  посредством измерителен уред TalyStep;
- определяне на пропускането ( $Tr$ ) в диапазона 0,55–1,25  $\mu m$  чрез фурие-спектрометър BOMEM.

### 3. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДЕБЕЛИНАТА И ПРОПУСКАНЕТО НА ТАНТАЛОВИЯ ОКСИД

На фиг. 1 е показана зависимостта на дебелината  $d$  на частично оксидирания танталов слой ( $Ta+Ta_2O_5$ ) от времето на оксидиране при две температури: 350 °C и 400 °C, в атмосфера на овлажнен кислород (режим В). Линиите, свързващи експерименталните точки, са поставени за нагледност.



**Фиг. 1.**

Могат да се открият три особености в тези зависимости:

- дебелината бързо нараства до време на прогряване 30 min и за двете температури на оксидиране;
- от 30 до 60 min нарастване на  $d$  практически отсъства;
- $d$  започва бавно да нараства в интервала 60–120 min със скорост, по-малка от 0,1 nm/min.

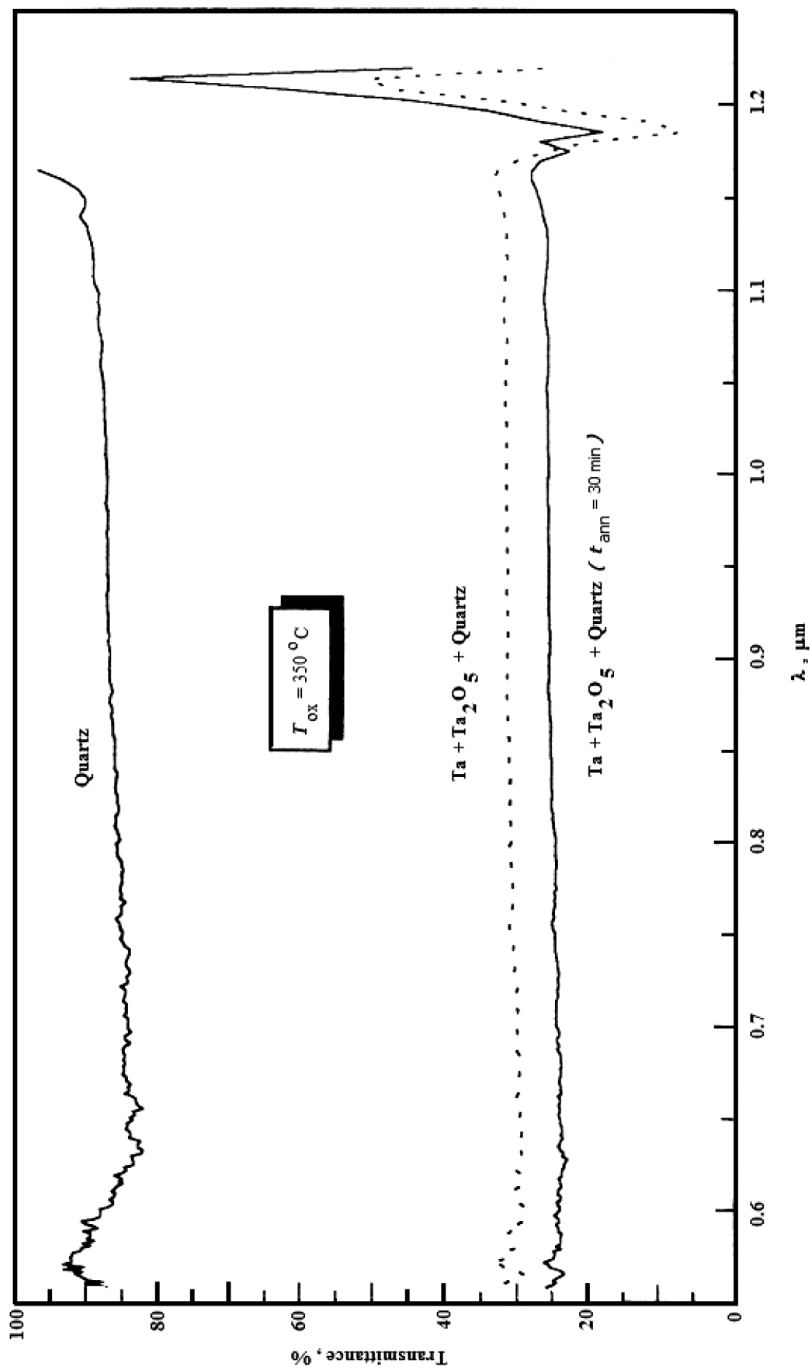
Дебелината на оксидирания слой в първите 30 min на процеса зависи предимно от  $T_{\text{ox}}$ . Стойностите на  $d$  при  $T_{\text{ox}} = 350$  °C и при 400 °C се различават с 10 nm. Постоянната стойност на  $d$  до 60 min на отгряване и последващото слабо нарастване до 120 min показват, че процесът, който лимитира оксидирането, е дифузията на  $O_2$  до границата на неоксидирания Ta-слой при сравнително невисоки температури. Следователно слоеве с по-големи дебелини изискват по-продължително отгряване. Не е изключено при това да настъпят процеси на уплътняване на оксида. Изборът на  $T_{\text{ox}}$  и  $t_{\text{ox}}$  трябва да се определя от температурната стабилност на конкретния интерфейс метал–GaSb. На фиг. 2 са показани някои от спектрите на пропускане на частично оксидирани Ta-слоеве във влажен кислород, снети в спектралния диапазон на чувствителност (за полупрозрачен шотки-барьер,  $\lambda \leq 1,77\mu\text{m}$ ) на GaSb.

От тези спектри са определени стойностите на пропускането при  $\lambda = 1\mu\text{m}$ , отразени в табл. 1 за  $T_{\text{ox}} = 350$  °C и табл. 2 за  $T_{\text{ox}} = 400$  °C.

**Таблица 1.** Зависимост на пропускането ( $Tr$ ) и на дебелината на слоя ( $d$ ) от режима на окисление и времето при  $T_{\text{ox}} = 350$  °C

Режим	Време ( $t_{\text{ox}}$ ), min	$d$ , nm	Tr, % ; $\lambda = 1\mu\text{m}$
Влажен	30	30	29,30
Влажен	60	30	29,70
Влажен	90	32	36,16
Влажен	120	35	32,44

Зависимостта на пропускането от времето на оксидиране следва практически зависимостта  $d(t_{\text{ox}})$ , а именно – почти постоянна до 60 min с бавно нарастване до 90 min. Следователно до известна дебелина на  $Ta_2O_5$  (отношение оксидиран/неоксидиран Ta) пропускането зависи от дебелината на оксида ( $d_{\text{ox}}$ ). Интерес представлява намаляването на



Фиг. 2.

стойността на  $Tr$  при  $T_{ox} = 350$  °C за 120 min (табл. 1) независимо от увеличаването на дебелината на оксида, респективно намаляването на дебелината на неоксидирания Ta. Качествено този експериментален факт би могъл да се обясни с евентуална промяна в структурата на оксида при по-продължителни времена на прогряване, например уплътняването му, което увеличава поглъщането в него. В табл. 2 са представени данни и за оксидиране на идентични слоеве в сух  $O_2$  (режим А). Резултатите са доста противоречиви, а данните недостатъчни за еднозначното им обяснение. И в този случай стойността на пропускането нараства с нарастването на дебелината на оксидирания танталов слой  $d_{ox}$ .

**Таблица 2.** Зависимост на пропускането ( $Tr$ ) и на дебелината на слоя ( $d$ ) от режима на окисление и времето при  $T_{ox} = 400$  °C.

Режим	Време ( $t_{ox}$ ), min	$d$ , nm	$Tr$ , % ; $\lambda = 1\mu\text{m}$
Влажен	30	40	82,60
Сух		45	93,85
Влажен	60	40	83,20
Сух		40	87,18
Влажен	90	42	92,40

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализът на данните и зависимостите на дебелината на оксида от времето на оксидиране и за двете температури на оксидиране дава основание да се смята, че лимитиращият процес при оксидацията е дифузията на  $O_2$  до границата на неоксидирания танталов слой. При по-продължително прогряване (>90 min) едновременно с увеличаване на дебелината на оксида настъпва и промяна в структурата му, както показват стойностите на пропускането. Спектрите на пропускане на частично оксидиран Ta във влажен кислород в спектралната област от 0,6–1,1  $\mu\text{m}$  показват, че максималното пропускане е по-голямо или равно на 0,5, което прави приложими тези структури за създаване на шотки-фотодиоди за видимата и близката инфрачервена област.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Varblianska, K., K. Tzenev, Tz. Marinov, V. Krastev, P. Gladkov. *Phys. Stat. Sol. (a)*, **143**, 1994, 463.
2. Gladkov, P., K. Varblianska, St. Rusev. *Sensors and Actuators A*, **44**, 1994, 51.
3. Lugomer, S., M. Kerenovic, M. Stipancic, S. Lekic. *Vacuum*, **38**, 1988, 15.
4. Mukherjee, S., C. Palmstrom, J. Smith, J. *Vac. Sci. Technol.*, **17**, 1980, 904.

*Постъпила декември 2007 г.*

Katia Varblianska  
St. Kliment Ohridski University of Sofia  
Faculty of Physics  
Laboratory of Semiconductor Physics and Technology  
Galichitza 33a  
BG-1164 Sofia, Bulgaria  
E-mail: [inform@phys.uni-sofia.bg](mailto:inform@phys.uni-sofia.bg)