

УДК 537.33.3

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КИСЛОРОДОСОДЕРЖАЩИХ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НИОБИЯ И ТАНТАЛА

Д.т.н. И.Ш. Невлюдов, д.т.н. В.Н.Гурин, к.т.н. Ю.Н. Александров, Д.В.Гурин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Исследованы электрические характеристики анодных окисных пленок на основе тантала и ниобия. Установлены качественные различия в характере влияния кислорода в ниобии и тантале на протекание инжекционных токов в слоистых структурах на основе этих металлов. В результате локального перенасыщения кислородом твердого раствора $Ta(O)$ происходит выделение кристаллического оксида Ta_2O_5 , либо метастабильных кристаллических фаз низших оксидов тантала.

Досліджено електричні характеристики анодних окисних плівок на основі танталу і ніобію. Встановлено якісні відмінності в характері впливу кисню в ніобії і танталі на перебіг інжекційних струмів в шаруватих структурах на основі цих металів. В результаті локального перенасичення киснем твердого розчину $Ta(O)$ відбувається виділення кристалічного оксиду Ta_2O_5 , або метастабільних кристалічних фаз нижчих оксидів тантала.

The electrical characteristics of anodic oxide films based on tantalum and niobium were studied. Qualitative differences in the nature of the influence of oxygen in niobium and tantalum on the flow of injection currents in layered structures based on these metals are established. As a result of local super saturation of the solid solution with oxygen, crystalline oxide or metastable crystalline phases of lower tantalum oxides are released.

Ключевые слова: окисные пленки; электрические характеристики; слоистые структуры; кристаллический оксид.

Введение.

В процессе производства оксидно-полупроводниковых конденсаторов происходит насыщение кислородом диэлектрической пленки Nb_2O_5 и Ta_2O_5 . Влияние этого фактора на параметры конденсаторов изучено недостаточно. В связи с этим, проведенные нами исследования по выяснению механизма влияния, внедренного в структуру $Me/\alpha - Me_2O_5$, кислорода на ее свойства является актуальным [1,2].

Методика проведения электрических и электрографических исследований.

Электрические исследования включали в себя съемку и анализ вольт-амперных характеристик (ВАХ) при различной поляризации базового металла, а также емкостные измерения при положительной поляризации базового металла.

В измерительную схему для снятия статических ВАХ слоистых структур $Me/\alpha - Me_2O_5/$ противоэлектрод входят: источник стабилизированного напряжения типа ЛИПС 11А-30; вольт-метр универсальный цифровой В7-23 с входным сопротивлением от 10^6 до 10^9 Ом зависимости от диапазона измерений, позволяющий измерять напряжение 10^{-6} до 10^3 В, с погрешностью измерений на основном пределе не хуже 0,05. Для замеров тока использовался прибор комбинированный цифровой Щ300 с чувствительностью по току 10^{-10} А.

Для измерения емкости C и тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$ МДП-структур использовался универсальный прибор типа РМЭ-8. Он имеет следующие характеристики: диапазон измеряемых емкостей $10^{-8} - 10^{-2}$; изменение поляризирующего напряжения на исследуемом образце 0-1000 В; диапазон измерения $tg\delta$ 0-100%; диапазон измерений токов $10^{-6} \div 10^{-2}$ А; частота переменной составляющей напряжения $\nu = 50$ Гц.

Электрографические исследования проводились с целью выявления локальных участков анодных окисных пленок (АОП) с повышенной электропроводностью. При проведении таких исследований на проводящие участки поверхности АОП электрохимическим методом осаждалась медь из 0,5 М водного раствора медного купороса при отрицательной поляризации базового металла [3-5]. Контроль процесса электрохимического осаждения меди проводился визуально с помощью оптического микроскопа.

Исследование электрических характеристик слоистых структур

Качественные различия проявляются в характере влияния кислорода в ниобии и тантале на протекание инжекционных токов в слоистых структурах на основе этих металлов. На рис. 1 представлены ВАХ свежеприготовленных структур на основе чистых и насыщенных кислородом ниобия и тантала при отрицательной поляризации базовых металлов, а на рис. 2 - зависимости тока от толщины при постоянном напряжении для структур на основе кислородосодержащих металлов.

Из этих рисунков видно, что при насыщении тантала кислородом наблюдается рост инжекционного тока и ослабление его зависимости от толщины.

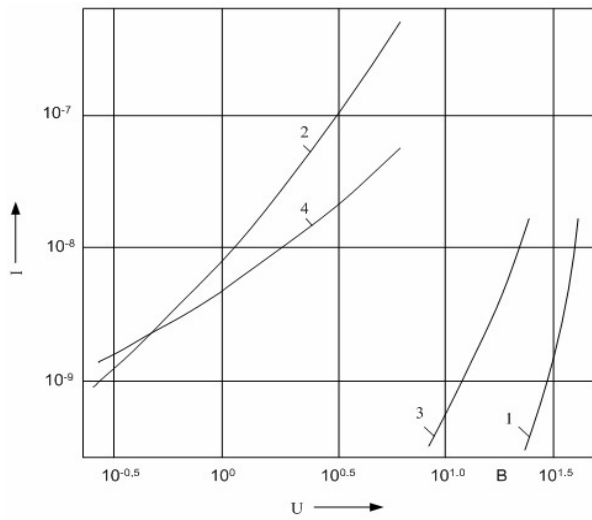


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики для МДП-структур на основе тантала (1,3) и ниобия (2,4) с чистым и кислородосодержащим базовым металлом при его отрицательной поляризации

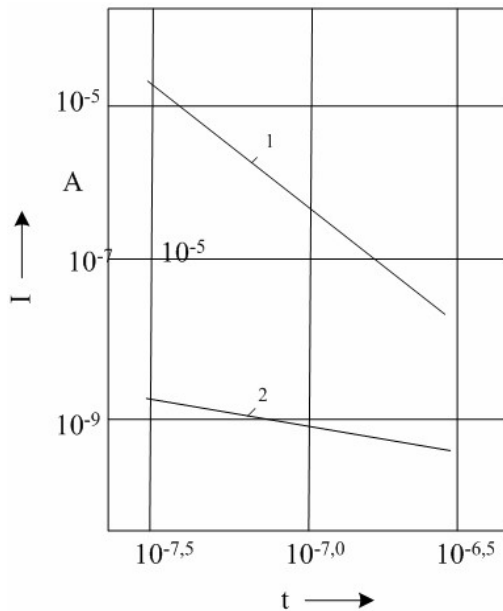


Рис. 2. Толщинные зависимости тока при отрицательной поляризации базового металла сендвич структур на основе ниобия (1) и тантала (2).

По данным электрографических исследований (рис. 3) практически весь инжекционный ток в свежеприготовленных образцах на основе насыщенного кислородом тантала локализован в отдельных микроскопических участках пленки $a-Ta_2O_5$, тогда как в свежеприготовленных образцах на основе чистого тантала участки повышенного протекания тока через структуру $a-Ta_2O_5$ практически не выявляются.

Токовые характеристики свежеприготовленных слоистых структур на основе $Ta(O)$ полностью идентичны характеристикам продеградировавших слоистых структур на основе чистого тантала. Эти характеристики связаны с механизмом деградации, который реализуется уже на стадии изготовления таких структур и состоит в следующем.

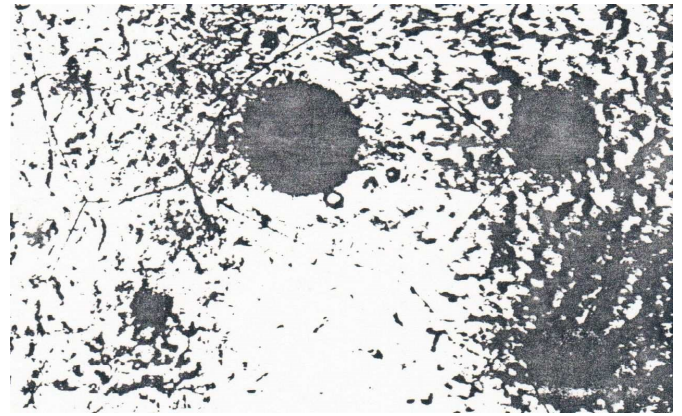


Рис.3. Электрограмма свежеприготовленной структуры $Ta(O)/a-Ta_2O_5$

В результате локального перенасыщения кислородом твердого раствора $Ta(O)$ происходит выделение кристаллического оксида Ta_2O_5 , либо метастабильных кристаллических фаз низших оксидов тантала. Эти оксидные фазы преимущественно располагаются по границам кристаллических зерен, дислокациям, некоторым примесям замещения. Поскольку анодный рост пленки Ta_2O_5 частично происходит вглубь танталовой подложки [6], то расположенные вблизи поверхности металла выделения оксидных фаз попадают в пограничный с металлом слой диэлектрика. Эти кристаллические фазы выполняют роль игл, которые прорастают из базового металла в аморфный диэлектрик и вызывают локализацию и рост инжекционного тока, а также ослабление его толщиной зависимости [7].

В свежеприготовленной слоистой структуре на основе $Nb(O)$ подобные изменения инжекционных токов не наблюдаются (рис. 1, 2). Это связано с высокой инжекционной способностью контакта $Nb/a-Nb_2O_5$, благодаря чему уровень инжекционных токов для данной структуры много выше, чем для структуры на основе тантала. По мере насыщения ниобия кислородом работа выхода электронов из металла уменьшается [8]. На этом фоне отдельные участки границы $Nb/a-Nb_2O_5$ не могут дать заметного вклада в величину инжекционного тока. При увеличении концентрации кислорода в ниобии до уровня предела растворимости его в металле наблюдается даже снижение уровня токов при отрицательной поляризации базового металла, что связывается с обогащением танталом поверхности $Nb(O)$ [9].

Вместе с тем, диэлектрические свойства пленок $a-Nb_2O_5$, сформированных на поверхности $Nb(O)$, ухудшались с течением времени при термополевых нагрузках. Деградация ускорялась при увеличении содержания кислорода в $Nb(O)$. С ростом толщины пленок $a-Nb_2O_5$ и увеличении площади противоэлектрода. Этот результат также как и в случае структур $Ta(O)/a-Ta_2O_5$ связан с уменьшением стабильности аморфного состояния выращенных на поверхности $Nb(O)$ пленок $a-Nb_2O_5$ из-за появления в них включений кристаллических фаз [10].

Висновки.

Растворення кислого в ніобії та танталі сприяє подавленню деградаційного процесу, пов'язаного з відновленням аморфного оксиду базовим металом. Це обумовлено зменшенням градієнта хімічного потенціалу кислого та підвищенням енергетичного бар'єра для кислого на границі $Me/a - Me_2O_5$. Одночасно з цим інтенсифікуються деградаційні процеси, пов'язані з кристалізацією аморфної фази. Отримані результати дають підставу на введення в технологію операції контролюваного легування структури кислого.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. *Reliability Handbook [Електронний ресурс] /Toshiba Memory Corporation July 2018. - Режим доступу: <https://business.toshiba-memory.com/content/dam/.../reliability-handbook-tmc-en.pdf>.*
2. Moon B. K. *Insulating properties of tantalum pentoxide capacitor films obtained by annealing in dry ozone // Journal of Applied Physics, 1999. <https://doi.org/10.1063/1.369339>*
3. Акимов Г.В. *Електрохімічні захисні плівки / Г.В. Акимов, Е.Н. Палеолог // ДАН СССР, 1946. -Т.51. -№4. -с. 291 – 295.*

УДК 658.512

МОДЕЛЬ ВИБОРУ SCADA-СИСТЕМ В УМОВАХ НЕЧІТКОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Д.т.н. Ю.А. Петренко, к.т.н. О.С. Кононіхін, к.т.н. О.І. Богатов, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

У статті розроблено модель вибору SCADA-систем, яка дозволяє вибрати ефективне програмне забезпечення для систем автоматизації по заданим критеріям в умовах нечіткої інформації.

В статті розроблена модель вибору SCADA-систем, которая позволяет выбрать эффективное программное обеспечение для систем автоматизации по заданным критериям в условиях нечеткой информации.

The article is elaborated selection model of SCADA-systems, which allows selecting of effective software for automation systems based on specified criteria in a fuzzy information conditions.

Ключові слова: часткові критерії, надійність, масштабність, нечітка інформація, SCADA-системи, метод аналізу ієрархії

Вступ.

Сучасна АСУТП (автоматизована система управління технологічним процесом) являє собою багаторівневу людино-машинну систему управління. Створення АСУ складними технологічними процесами здійснюється з використанням автоматичних інформаційних систем збору даних та обчислювальних комплексів, які постійно вдосконалюються.

Тут важливо зробити акцент на слові "автоматизована". Під цим мається на увазі, що система управління аж ніяк не повністю автономна (самостійна), і потрібна участь людини (оператора) для реалізації певних

4. Одынец Л.Л. Дефекты в анодных окисных пленках на тантале / Л.Л. Одынец, С.С. Чекмасова // *Электронная техника. Вып.6 (9), 1976. – с. 29 – 33.*

5. Nicollian E. H. *MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology/ E.H. Nicollian and J. R.// Brews Publisher John Wiley & Sons, Somerset, New Jersey, 1982. – 906 p.*

6. Гурич В.Н. Кристаллізація аморфних оксидних плінок на поверхності Me (O) // *Вісник Міжнародного Славянського Університету.- Серія: «Технічні Науки». - том XII.- №1, 2009.- с. 65–68.*

7. Schroeder D. *Physical explanation of the barrier height temperature dependence in metal-oxide-semiconductor leakage current models / Dietmar Schroeder, Alejandro Avellan// Applied Physics Letters. – June 2003.– 82(25) - P.4510-4512.- DOI: 10.1063/1.1587256*

8. Klein G.R. *Elektron ingaction into anodic tantalum oxide assisted by ionic interfase polarization / G.R.Klein, N.J. Jaeger //G.Electrochem. Soc. -1970/ Vol.117. -No.12. – P.1483 – 1494.*

9. Кулибаєва Ж.К. *Аналіз отказов и надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем // Молодой ученый, 2014. – №8.1. – с. 13–16.*

10. *Мікросистемна техніка та нанотехнології: монографія / І.Ш. Невлюдов., В.А. Палагін. Київ: НАУ, 2017. – 528 с.*

завдань. Вираз "пустив і забув" для таких систем не підходить. Навпаки, системи автоматичного управління (АСУ) призначені для роботи без будь-якого контролю з боку людини і повністю автономні. Дуже важливо розуміти цю принципову різницю між АСУ і САУ.

У зарубіжній літературі можна зустріти досить цікаву класифікацію АСУ ТП, у відповідність з якою все АСУ ТП діляться на три глобальні класи [1].

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). На українську мову цей термін можна перекласти як "система телемеханіки", "система телеметрії" або "система диспетчерського управління". Останнє визначення найточніше відображає сутність і призначення системи - контроль і моніторинг об'єктів за участю диспетчера.

Термін SCADA часто використовується у більш вузькому сенсі: багато хто так називають програмний пакет візуалізації технологічного процесу. Проте в даному розділі під словом SCADA ми будемо розуміти цілий клас систем управління.

Застосування SCADA-технологій дозволяє досягти високого рівня автоматизації у вирішенні завдань розробки систем управління, збору, обробки, передачі, зберігання та відображення інформації.

Основними сферами застосування систем диспетчерського управління (за даними зарубіжних джерел), являються [2, 3]:

– управління передачею і розподілом електроенергії;