

УДК 621.382

Влияние методов получения тонких пленок оксида церия на вольт-фарадные характеристики МДП-структур

Королевич^f Л. Н., ORCID [0000-0002-4006-280X](https://orcid.org/0000-0002-4006-280X)
 Борисов^s А. В., к.т.н. проф., ORCID [0000-0003-4553-3591](https://orcid.org/0000-0003-4553-3591)

Факультет электроники fel.kpi.ua

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» kpi.ua

Киев, Украина

Максимчук Н. В., к.т.н., ORCID [0000-0001-7137-2168](https://orcid.org/0000-0001-7137-2168)

Университет штата Джорджия, Институт Нейронауки

Атланта, США

Аннотация—В статье рассматриваются методы получения тонких пленок оксида церия, совместимые с классической кремниевой технологией. Показано, что вольт-фарадные характеристики (ВФХ) структур алюминий – оксид церия – кремний зависят от метода получения диэлектрической пленки. Рассмотрена система зарядов на границе раздела диэлектрик-полупроводник и вблизи нее. Установлено, что на ВФХ таких структур оказывает влияние только фиксированный заряд в диэлектрике, поскольку другие типы электрического заряда отсутствуют и/или их количество пренебрежимо мало. Установлено, что МДП-структуры, полученные с использованием метода вспышки, характеризуются обратимыми изменениями напряжения плоских зон вследствие изменения величины фиксированного заряда в диэлектрике, под воздействием внешних факторов. Метод окисления металлического зеркала позволяет получить МДП-структуры с фиксированным зарядом в диэлектрике, независимым от воздействия внешних факторов.

Библ. 9, рис. 13.

Ключевые слова — тонкие пленки; оксид церия; МДП-структура; вольт-фарадные характеристики (ВФХ); система зарядов; эффективный заряд; поверхностный потенциал.

I. ВВЕДЕНИЕ

Тонкие пленки оксида церия находят все большее применение в электронике. Особое внимание уделяется использованию оксида церия в роли подзатворного диэлектрика в МДП-структурах и приборах на их основе. Этот интерес обусловлен, прежде всего, уникальными свойствами оксида церия: высокая диэлектрическая проницаемость; высокая электрическая прочность; высокий показатель преломления; схожесть с кремнием по параметру кристаллической решетки, что позволяет использовать его в кремниевых приборах со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) [1]–[3]. Методы получения пленок оксида церия, такие, как метод вспышки (взрывного испарения) и метод окисления металлического зеркала, совместимы с классической кремниевой технологией [3].

Зависимость электрофизических параметров МДП-структуры от метода получения тонких пленок диэлектрика наиболее ярко проявляется на вольт-фарадных характеристиках (ВФХ) этих структур. Эта зависимость непосредственно связана с системой электрических зарядов в диэлектрике и на границе

раздела диэлектрик-полупроводник, зависящей от технологического процесса создания тонких диэлектрических пленок на полупроводниковой подложке.

Целью данной работы является установление связи между электрофизическими параметрами МДП-структур и технологическим методом получения тонких диэлектрических пленок посредством анализа системы электрических зарядов в диэлектрике и на границе раздела диэлектрик-полупроводник.

II. ЭФФЕКТИВНЫЙ ЗАРЯД В ДИЭЛЕКТРИКЕ

В общем случае, эффективный электрический заряд в диэлектрике состоит из n -ого числа электрических зарядов различной природы. Для системы Si-SiO₂ [4]–[7] этот заряд состоит из заряда подвижных ионов Q_m , заряда, захваченного на ловушечных уровнях в диэлектрике Q_{dt} , заряда, захваченного на поверхности раздела диэлектрик-полупроводник (поверхностный захваченный заряд) Q_{it} , и фиксированного заряда в диэлектрике Q_f (рис. 1):



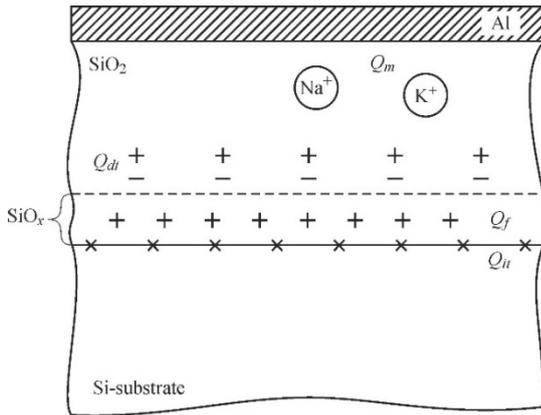


Рис. 1. Расположение электрических зарядов на границе раздела полупроводник-диэлектрик и вблизи нее [4].

$$Q_{eff} = Q_m + Q_{dt} + Q_{it} + Q_f. \quad (1)$$

Как показано в [8], описанная система зарядов подходит для описания любой МДП-структуры.

Заряд подвижных ионов Q_m обусловлен наличием ионов щелочных металлов в диэлектрике. Заряд, захваченный на ловушечных уровнях в диэлектрике Q_{dt} , обусловлен зарядом дефектов в объеме диэлектрика. Фиксированный заряд в диэлектрике Q_f является зарядом структурных дефектов в диэлектрике на расстоянии не более 2 нм от границы раздела диэлектрик-полупроводник. Поверхностный захваченный заряд Q_{it} обусловлен зарядом дефектов на границе раздела полупроводник-диэлектрик. Эффективный заряд в диэлектрике определяет сдвиг порогового напряжения МДП-прибора:

$$\Delta V_T = \frac{Q_{eff}}{C_{ox}} = \frac{Q_m + Q_{dt} + Q_{it} + Q_f}{C_{ox}}, \quad (2)$$

где C_{ox} – емкость диэлектрической пленки в МДП-структуре.

Поскольку входящие в (1) величины электрических зарядов могут иметь противоположные знаки и численно изменяться, то описание поведения эффективного электрического заряда является невозможным и, следовательно, невозможно определить и сдвиг порогового напряжения ΔV_T .

Однако факт наличия того или иного заряда можно установить по ВФХ МДП-структуры. Рассмотрим каждый из них в отдельности.

Заряд Q_m является подвижным, поэтому о его наличии говорит сдвиг ВФХ после термообработки под действием постоянного напряжения. Заряд Q_{dt} образуется во время роста пленки диэлектрика, после ионизирующего излучения и/или в результате инжекции горячих носителей заряда в диэлектрическую пленку. Этот тип заряда всегда может быть ликвидирован путем отжига пленки и поэтому практически всегда отсутствует в современных МДП-структурах. Заряд Q_f является неподвижным, поэтому его наличие приводит исключительно к сдвигу ВФХ вдоль

оси напряжений и не оказывает влияния на изменение ее формы. Поскольку дефекты на границе раздела диэлектрик-полупроводник могут контактировать со свободными носителями заряда в подложке, наличие заряда Q_{it} искажает форму ВФХ (растяжением вдоль оси напряжений).

III. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК ОКСИДА ЦЕРИЯ

A. Метод вспышки

Метод вспышки заключается в мгновенном испарении малой дозы вещества, когда она достигает поверхности испарителя. К материалу испарителя предъявляются жесткие требования. Это обусловлено тем, что его рабочая температура должна соответствовать температуре испарения менее летучего вещества, что может превышать 2000°С. При этом испаритель должен быть сделан из химически неактивного к испаряемому веществу материала. Лучше всего для этого подходят вольфрам и тантал.

В ходе исследования в роли испарителя использовались вольфрамовые ленты толщиной 0,1 мм, которые нагревались электрическим током. Испарение проводилось в вакуумной камере с давлением $10^{-3} \dots 10^{-2}$ Па при температурах кремниевых подложек 175..300°С. В результате были получены пленки SeO_x толщиной 20..50 нм.

B. Метод окисления металлического зеркала

Метод окисления металлического зеркала заключается в окислении предварительно полученной на подложке пленки соответствующего металла. Преимуществом данного метода является простота и использование стандартного оборудования. Для получения металлических пленок на поверхности подложки часто используется метод электронно-лучевого испарения, что требует достаточно высокого уровня вакуума.

Нанесение металлических пленок церия проводилось в вакуумной камере с давлением 10^{-5} Па на подложку с температурой 160°С, которая сохранялась еще в течение 10 минут после нанесения пленки. Стадия окисления проводилась в диффузионной печи в кислородной среде при температуре 300°С. Полученные пленки SeO_2 имели толщину 20..50 нм.

Металлические пленки алюминия для создания МДП-структур наносились методом электронно-лучевого испарения на пленки оксида церия, полученного как методом вспышки, так и методом окисления металлического зеркала.

Пленки оксида церия (SeO_x), полученные методом вспышки, имеют нестехиометрический состав, а именно состоят из нанокристаллов SeO_2 в аморфной матрице Se_2O_3 [3]. Пленки SeO_2 , полученные методом окисления металлического зеркала, как правило, характеризуются значением относительной диэлектрической проницаемости в пределах 14..15, тогда как пленки SeO_x , полученные методом



вспышки – 8..9. Это объясняется тем, что при применении метода окисления металлического зеркала образуются более стехиометрические пленки CeO_2 , которые, соответственно, имеют большую диэлектрическую проницаемость.

IV. ВОЛЬТ-ФАРАДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУР АЛЮМИНИЙ – ОКСИД ЦЕРИЯ – КРЕМНИЙ

Для анализа зарядов на границе раздела диэлектрик-полупроводник было исследовано влияние освещенности и температуры на ВФХ полученных МДП-структур. Экспериментальные зависимости приведены на рис. 2-7, погрешности измерения составляли по напряжению $\pm 5 \text{ мВ}$, а по емкости $\pm 0,1 \text{ нФ}$.

V. АНАЛИЗ ВОЛЬТ-ФАРАДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИССЛЕДУЕМЫХ МДП-СТРУКТУР

Проанализируем влияние системы электрических зарядов в диэлектрике и на границе раздела диэлектрик-полупроводник на ВФХ структур алюминий – оксид церия – кремний. Поскольку исследуемые структуры не подвергались воздействию радиационного излучения и в процессе их получения проводился отжиг, то следует считать, что заряд, захваченный на ловушках в диэлектрике Q_{dt} , отсутствует. Для выявления заряда подвижных ионов Q_m были

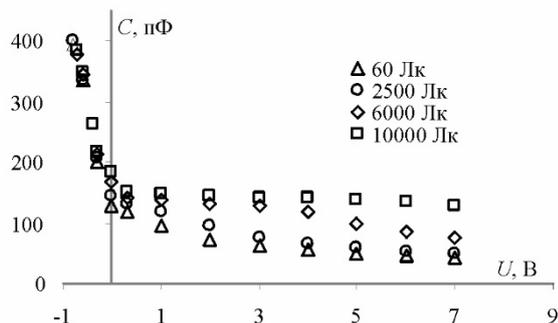


Рис. 2. Экспериментальные ВФХ структуры $\text{Al}-\text{CeO}_2-\text{Si}$, полученной методом окисления металлического зеркала, при различных уровнях освещенности.

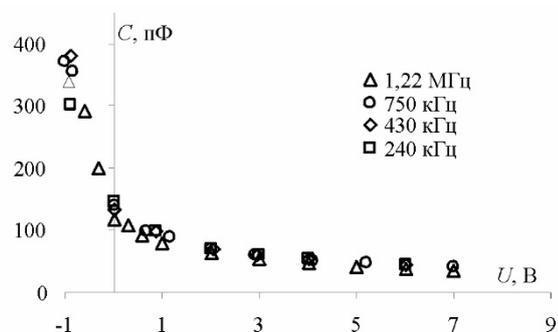


Рис. 3. Экспериментальные ВФХ структуры $\text{Al}-\text{CeO}_2-\text{Si}$, полученной методом окисления металлического зеркала, на разных частотах.

проведены температурные исследования образцов под действием постоянного напряжения на металлическом электроде, а также измерение порогового напряжения до и после такого воздействия. Поскольку не наблюдалось смещения порогового напряжения после испытаний, следует утверждать, что заряд Q_m в исследуемых образцах отсутствует. Таким образом, в исследуемых структурах следует ожидать наличия только заряда, встроенного в диэлектрик Q_f , и заряда на границе раздела диэлектрик-полупроводник Q_{it} .

Для выявления наличия заряда Q_{it} воспользуемся аппроксимацией ВФХ в диапазоне напряжений, соответствующих режиму обеднения приповерхностного слоя полупроводника [9]:

$$(C_{ox}/C)^2 - 1 = \text{const} \cdot (V_G - V_{FB}), \quad (3)$$

где C – полная емкость МДП-структуры; V_G – напряжение на металлическом электроде; V_{FB} – напряжение плоских зон. Выражение (3) справедливо (линейная зависимость от напряжения) только в случае отсутствия заряда Q_{it} или в случае, когда влиянием этого заряда можно пренебречь.

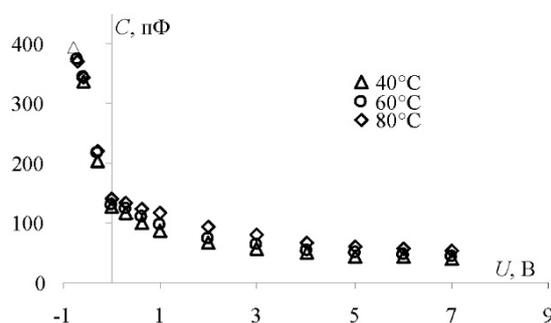


Рис. 4. Экспериментальные ВФХ структуры $\text{Al}-\text{CeO}_2-\text{Si}$, полученной методом окисления металлического зеркала, при разных температурах.

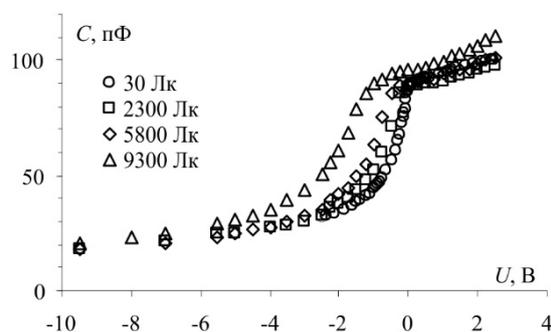


Рис. 5. Экспериментальные ВФХ структуры $\text{Al}-\text{CeO}_x-\text{Si}$, полученной методом вспышки, при различных уровнях освещенности.



DOI: 10.20535/2523-4455.2019.24.3.178484

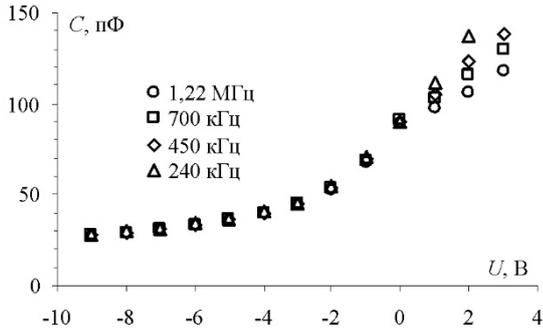


Рис. 6. Экспериментальные ВФХ структуры Al-CeO_x-Si, полученной методом вспышки, на разных частотах.

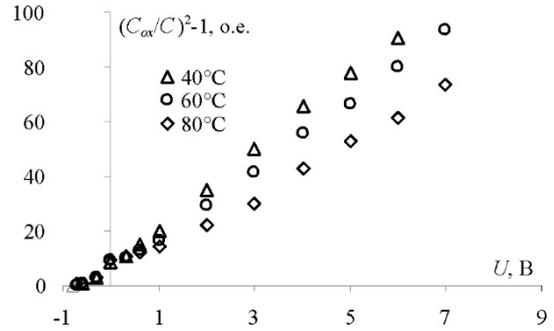


Рис. 10. Апроксимация ВФХ структуры Al-CeO₂-Si, полученной методом окисления металлического зеркала, при разных температурах.

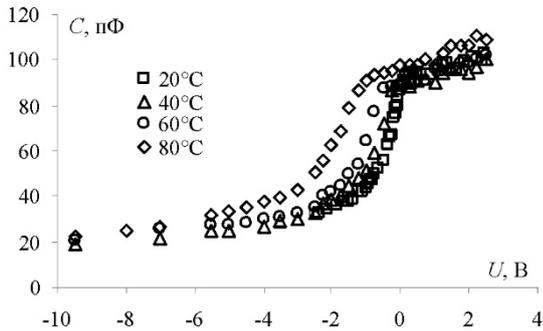


Рис. 7. Экспериментальные ВФХ структуры Al-CeO_x-Si, полученной методом вспышки, при разных температурах.

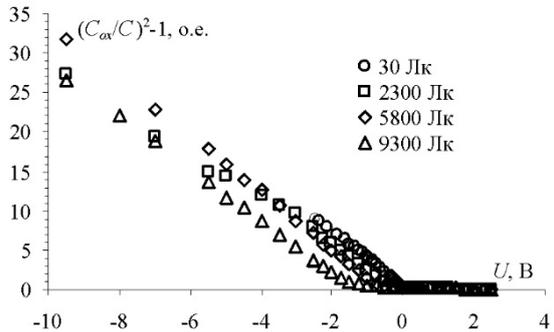


Рис. 11. Апроксимация ВФХ структуры Al-CeO_x-Si, полученной методом вспышки, при различных уровнях освещенности.

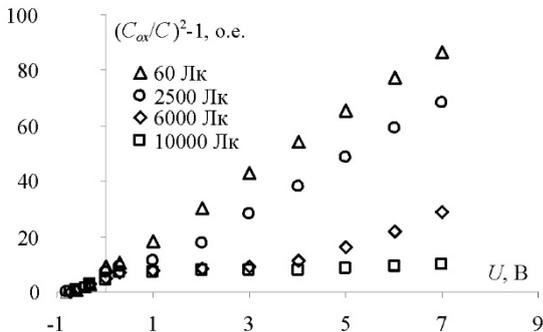


Рис. 8. Апроксимация ВФХ структуры Al-CeO₂-Si, полученной методом окисления металлического зеркала, при различных уровнях освещенности.

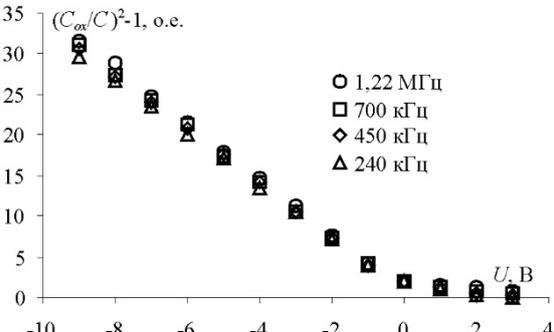


Рис. 12. Апроксимация ВФХ структуры Al-CeO_x-Si, полученной методом вспышки, на разных частотах.

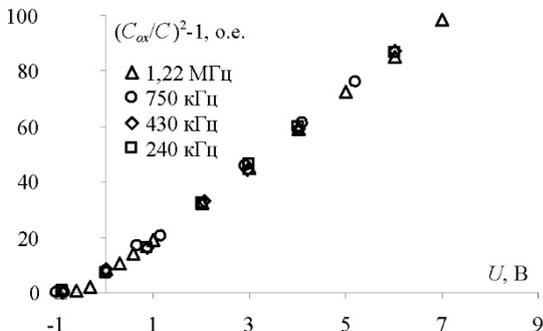


Рис. 9. Апроксимация ВФХ структуры Al-CeO₂-Si, полученной методом окисления металлического зеркала, на разных частотах.

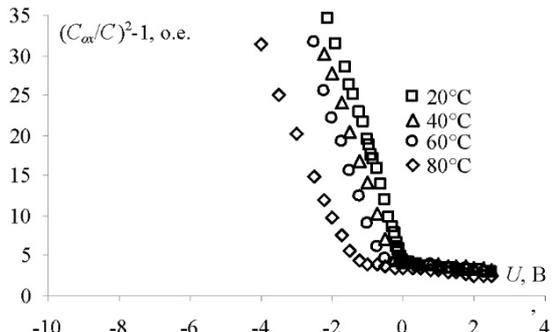


Рис. 13. Апроксимация ВФХ структуры Al-CeO_x-Si, полученной методом вспышки, при разных температурах.



Для выявления, в исследуемых образцах, заряда Q_{it} , с использованием выражения (3), были построены характеристики изображенные на рис. 8-13. Поскольку на всех полученных характеристиках в режиме обеднения приповерхностного слоя полупроводника наблюдается линейная зависимость $(C_{ox}/C)^2 - 1$ от напряжения, то следует полагать, что заряд Q_{it} в исследуемых структурах либо отсутствует, либо пренебрежимо мал.

Исходя из вышеизложенного, установлено, что единственным типом заряда, который оказывает существенное влияние на ВФХ в системе алюминий - оксид церия - кремний, является встроенный заряд в диэлектрике. Следует отметить различное влияние этого заряда на ВФХ таких структур, в зависимости от технологического метода их получения. Так, общим для обоих технологических методов является слабая зависимость минимальной емкости МДП-структуры от уровня освещения и температуры в области сильной инверсии приповерхностного слоя полупроводника, что можно объяснить процессами фото- и термогенерации в области пространственного заряда, которая отделяет инверсионный приповерхностный слой от подложки.

Особенностями МДП-структур, полученных методом металлического зеркала, является стабильность фиксированного заряда при изменении воздействия внешних факторов: частоты, освещенности и температуры. Это подтверждается тем фактом, что напряжение плоских зон таких структур остается неизменным при изменении внешних факторов (рис. 2-4).

Для МДП-структур на основе пленок оксида церия, полученных методом вспышки, наблюдаются обратимые изменения величины фиксированного заряда в диэлектрике Q_f от внешних факторов: возрастание величины этого заряда с ростом температуры и уровня освещения, что неизбежно приводит к увеличению напряжения плоских зон (рис. 5-6). Причиной этого является то, что при использовании данного метода получают пленки оксида церия, состоящие из нанокристаллитов CeO_2 в матрице аморфного Ce_2O_3 . Именно поэтому наличие внешних воздействующих факторов приводит к появлению дополнительных зарядов в диэлектрике за счет разрыва связей между нанокристаллитами и матрицей. На обратимость этих изменений указывает отсутствие гистерезиса на ВФХ таких МДП-структур. Таким образом, главная особенность МДП-структур с пленками оксида церия, полученными методом вспышки, проявляется в обратимом изменении напряжения плоских зон (а соответственно, и порогового напряжения) МДП-структуры при изменении внешних факторов.

Применение пленок оксида церия, полученных методом вспышки, в МДП-приборах позволяет управлять их пороговым напряжением посредством изменения внешних факторов, что расширяет их функциональность и сферу применения. Выбор

метода получения пленок оксида церия определяется конкретными требованиями к изготавливаемым МДП-приборам. Так, для МДП-приборов, параметры которых не зависят от воздействия внешних факторов, следует использовать метод окисления металлического зеркала, а для приборов с управляемым пороговым напряжением – метод вспышки.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Установлено, что в системах алюминий – оксид церия – кремний, полученных методами, совместимыми с классическим кремниевым технологическим процессом, существенное влияние на характеристики приборов имеет только фиксированный заряд в диэлектрике. Заряд, захваченный на ловушках в диэлектрике, и заряд подвижных ионов в таких структурах вовсе отсутствует, а заряд на границе раздела диэлектрик-полупроводник пренебрежимо мал.

Метод окисления металлического зеркала для получения пленок оксида церия позволяет получать МДП-структуры с фиксированным зарядом в диэлектрике, стабильным к воздействию внешних факторов.

МДП-структуры с тонкими пленками оксида церия, полученного методом вспышки, характеризуются обратимой зависимостью фиксированного заряда в диэлектрике от внешних факторов. Таким образом, это расширяет возможности применения таких структур с точки зрения их функциональности.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- [1] D. Park, M. Kim, K. Beom, S.-Y. Cho, C. J. Kang, and T.-S. Yoon, "Reversible capacitance changes in the MOS capacitor with an ITO/CeO₂/p-Si structure," *J. Alloys Compd.*, vol. 786, pp. 655–661, 2019, DOI: [10.1016/j.jallcom.2019.01.343](https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.01.343).
- [2] S. Vangelista *et al.*, "Structural, chemical and optical properties of cerium dioxide film prepared by atomic layer deposition on TiN and Si substrates," *Thin Solid Films*, vol. 636, pp. 78–84, 2017, DOI: [10.1016/j.tsf.2017.05.034](https://doi.org/10.1016/j.tsf.2017.05.034).
- [3] N. V. Maksymchuk, "Plivky oksydu tseriu dlia biosensoryv toksychnykh rehovyn: avtoreferat dysertacii [Cerium Oxide Films For Toxic Substances Biosensors: abstract of dissertation]," NTUU "KPI," 2012, URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/1704>.
- [4] G. Y. Krasnikov and N. A. Zaitsev, *Sistema kremniy-dioksid kremniya submikronnyih SBIS [Silicon-Silicon Dioxide System of Submicron VLSI]*. Moscow: ТехноФера, 2003, ISBN: 9785948360089.
- [5] N. Zaitsev, G. Krasnikov, and O. Ogurtsov, "Zaryadovyye sostoyaniya MOP-struktur. Standartizirovannaya terminologiya [Charge states of MOS structures. Standardized terminology]," *Electron. Sci. Technol. Bus.*, no. 1, pp. 64–65, 2002, URL: <http://www.electronics.ru/journal/article/1293>.
- [6] B. E. Deal, "Standardized Terminology for Oxide Charges Associated with Thermally Oxidized Silicon," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 27, no. 3, pp. 606–608, 1980, DOI: [10.1109/T-ED.1980.19908](https://doi.org/10.1109/T-ED.1980.19908).
- [7] B. E. Deal, "Standardized Terminology for Oxide Charges Associated with Thermally Oxidized Silicon," *J. Electrochem. Soc.*, vol. 127, no. 4, pp. 979–981, 1980, DOI: [10.1149/1.2129800](https://doi.org/10.1149/1.2129800).
- [8] D. K. Schroder, *Semiconductor material and device characterization*, Third. Hoboken: John Wiley & Sons, Ltd, 2006, ISBN: 978-0-471-73906-7.
- [9] K. Piskorski and H. Przewlocki, "The methods to determine flat-band voltage VFB in semiconductor of a MOS structure," in *MIPRO 2010: 33rd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics*, 2010,



pp. 37–42, URL:
https://www.researchgate.net/publication/251939902_The_methods_to_determine_flat-band_voltage_VFB_in_semiconductor_of_a_MOS_structure.

Надійшла до редакції 17 травня 2019 р.

УДК 621.382

Вплив методів отримання тонких плівок оксиду церію на вольт-фарадні характеристики МДН-структур

Королевич^f Л. М., ORCID [0000-0002-4006-280X](https://orcid.org/0000-0002-4006-280X)
Борисов^s О. В., к.т.н. проф., ORCID [0000-0003-4553-3591](https://orcid.org/0000-0003-4553-3591)
Факультет електроніки fel.kpi.ua
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" kpi.ua
Київ, Україна

Максимчук Н. В., к.т.н., ORCID [0000-0001-7137-2168](https://orcid.org/0000-0001-7137-2168)
Університет штату Джорджія, Інститут Нейронауки
Атланта, США

Анотація—Тонкі плівки оксиду церію все частіше використовуються в електроніці. Цей інтерес зумовлений, насамперед, унікальними властивостями оксиду церію: високою діелектричною проникністю; високою діелектричною міцністю; високим показником заломлення; подібністю в параметрі кристалічної решітки до кремнію; сумісністю методів отримання тонких плівок з класичною кремнієвою МДН технологією. Метою даної роботи є встановлення взаємозв'язку між електрофізичними параметрами МДН структур та технологічним методом отримання тонких діелектричних плівок. Для досягнення поставленої мети проведено аналіз системи електричних зарядів у діелектрику та на межі розділу діелектрик-напівпровідник. Залежність електрофізичних параметрів МДН структури від способу отримання тонких діелектричних плівок найбільш яскраво проявляється на вольт-фарадних характеристиках цих структур. Ця залежність безпосередньо пов'язана зі зміною системою електричних зарядів в діелектрику та на межі розділу діелектрик-напівпровідника, при зміні технологічного процесу створення тонких діелектричних плівок на напівпровідниковій підкладці. У статті розглядаються способи отримання тонких плівок оксиду церію, сумісні з класичною кремнієвою технологією: метод спалаху та метод окиснення металевого дзеркала.

Розглянуто систему зарядів на межі розділу діелектрик-напівпровідника та біля неї. Встановлено, що лише заряд, фіксований у діелектрику, впливає на вольт-фарадні характеристики МДН-структур, оскільки інші типи заряду відсутні та/або їх кількість є нехтовно малою. Показано, що вольт-фарадні характеристики структур алюміній-діоксид церію-кремній залежать від способу отримання діелектричної плівки. Для виявлення наявності заряду, зафіксованого в діелектрику, було використано апроксимацію вольт-фарадних характеристик в діапазоні напруги, що відповідає режиму збіднення поверхневого шару напівпровідника. Оскільки всі експериментальні характеристики в режимі збіднення поверхневого шару напівпровідника збігаються з лінійним наближенням, слід вважати, що заряд, фіксований у діелектрику, відсутній у досліджуваних структурах, або нехтовно малий.

Встановлено, що МДН структури, в яких тонкі плівки діоксиду церію отримані методом спалаху, характеризуються оборотними змінами їх напруги плоских зон. Це пояснюється зміною значення заряду, фіксованого в діелектрику, під впливом зовнішніх факторів. Метод окиснення металевого дзеркала дозволяє отримати плівки діоксиду церію на напівпровідниковій підкладці із зарядом, фіксованим у діелектрику, незалежним від зовнішніх факторів. Бібл. 9, рис. 13.

Ключові слова — тонкі плівки; оксид церію; МДН-структура; вольт-фарадні характеристики (ВФХ); система зарядів; ефективний заряд.



UDC 621.382

Influence of the Cerium Oxide Thin Film Production Methods on the Capacitance-Voltage Characteristics of the MIS Structures

L. M. Korolevych^f, ORCID [0000-0002-4006-280X](https://orcid.org/0000-0002-4006-280X)
O. V. Borysov^s, PhD Prof., ORCID [0000-0003-4553-3591](https://orcid.org/0000-0003-4553-3591)

Faculty of Electronics fel.kpi.ua

National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute" kpi.ua
Kyiv, Ukraine

N. V. Maksymchuk, PhD, ORCID [0000-0001-7137-2168](https://orcid.org/0000-0001-7137-2168)

Georgia State University, Neuroscience Institute
Atlanta, GA, US

Abstract—Thin films of cerium oxide are increasingly used in electronics. This interest is primarily due to the unique properties of cerium oxide: high dielectric constant; high dielectric strength; high refractive index; similarity to silicon in the crystal lattice parameter; thin film production methods are compatible with classical silicon MIS technology. The aim of this work is to establish a relationship between the electrophysical parameters of MIS structures and the technological method for producing thin dielectric films by analyzing the system of electric charges in a dielectric and at the insulator-semiconductor interface. The dependence of the electrophysical parameters of the MIS structure on the method for producing thin dielectric films is most clearly manifested in the capacitance – voltage (C – V) characteristics of these structures. This dependence is directly related to the system of electric charges in the insulator and at the insulator-semiconductor interface, which depends on the technological process of creating thin dielectric films on a semiconductor substrate.

The system of charges at the insulator-semiconductor interface and near it is considered. It has been established that only the charge fixed in the dielectric influences the CV characteristics of such structures, since there are no other types of charges and / or their number is negligible. The article discusses methods for producing thin cerium oxide films that are compatible with classical silicon technology. It is shown that the capacitance-voltage characteristics (CV characteristics) of aluminum – cerium – silicon structures depend on the producing method of the dielectric film. To identify the presence of charge fixed in the dielectric, approximation of the CV characteristic was used in the voltage range corresponding to the depletion mode of the surface layer of the semiconductor. Since all experimental characteristics in the depletion mode of the surface layer of the semiconductor coincide with linear approximation, it should be assumed that the charge fixed in the dielectric is absent in the studied structures.

It is established that the MIS structures obtained using the flash method are characterized by reversible changes in their flat-band voltage, due to a change in the charge value fixed in the dielectric, under the influence of external factors. The method of oxidation of a metal mirror makes it possible to obtain MIS structures with a charge fixed in a dielectric independent of external factors.

Ref. 9, fig. 13.

Keywords — thin films; cerium oxide; MIS-structure; capacitance-voltage characteristics (CV characteristics); charge system; effective charge.

