

Отрицательная дифференциальная проводимость структур на основе оксида лантана

© А. Игитян^{1,2}, Н. Агамалян^{1,2}, Р. Овсепян^{1,2}, С. Петросян^{1,2}, Г. Бадалян¹,
И. Гамбарян¹, А. Папикян², Е. Кафадарян^{1,2,¶}

¹ Институт физических исследований Национальной академии наук Армении,
0203 Аштарак, Армения

² Российско-Армянский университет,
0051 Ереван, Армения

¶ E-mail: ekafadaryan@gmail.com

Поступила в Редакцию 7 октября 2019 г.

В окончательной редакции 15 октября 2019 г.

Принята к публикации 15 октября 2019 г.

С помощью метода электронно-лучевого напыления получены прозрачные поверхностно-гидрированные пленки оксида лантана ($\text{OH-La}_2\text{O}_3$) толщиной 40, 140 и 545 нм. Исследованы электрические и оптические характеристики структур $\text{Al}/\text{OH-La}_2\text{O}_3/p\text{-Si}$, где в качестве верхнего и нижнего электродов использовали соответственно алюминий и кремниевую подложку с p -типом проводимости. Обнаружена область отрицательной дифференциальной проводимости на зависимостях проводимости от напряжения при прямом смещении; возможный механизм отрицательной дифференциальной проводимости объясняется переносом протонов по цепочкам молекул воды, связанных водородными связями на поверхности пленки $\text{OH-La}_2\text{O}_3$.

Ключевые слова: отрицательная дифференциальная проводимость, $\text{OH-La}_2\text{O}_3$, протонная проводимость.

DOI: 10.21883/FTP.2020.02.48915.9280

1. Введение

Среди материалов с высокой диэлектрической проницаемостью, рассматриваемых в качестве подзатворного слоя толщиной ~ 1 нм в тонкопленочных нанотранзисторах, для замены диоксида кремния ($\epsilon = 4.5$) наиболее подходящим является гексагональный оксид лантана ($h\text{-La}_2\text{O}_3$) из-за высокой диэлектрической проницаемости ($\epsilon = 27$) [1,2], высокой напряженности электрического пробоя [3], термостойкости на кремниевой подложке [4], относительно большого смещения зон по отношению к зонам кремния [2,5] и прозрачности в диапазоне длин волн от ультрафиолета (УФ) до инфракрасного (ИК) [6]. В этой связи подробно исследованы структурные, оптические и электрические характеристики $h\text{-La}_2\text{O}_3$ [1–6]. Кроме того, в структурах на основе La_2O_3 ($\text{TiN}/\text{La}_2\text{O}_3/\text{PtTi}/\text{SiO}_2/\text{Si}$, $\text{Pt}/\text{La}_2\text{O}_3/\text{Pt}$) выявлена резистивная память с биполярным переключением, разрабатываемая для создания энергонезависимой резистивной памяти (RRAM) [7,8].

Хорошо известно, что пленки La_2O_3 гигроскопичны, притягивают и удерживают молекулы воды из окружающей среды на поверхности, что влияет на транспортные свойства оксида лантана [9]. Как было показано нами в работе [10], структуры на основе поверхностно-гидрированных пленок оксида лантана ($\text{OH-La}_2\text{O}_3$), напыленных на кремниевые подложки с n -типом проводимости ($\text{Al}/\text{OH-La}_2\text{O}_3/n\text{-Si}$), имеют отрицательную дифференциальную проводимость (ОДП), когда увеличение напряжения приводит к уменьшению тока. В данной работе этот эффект становится более заметным в пленках $\text{OH-La}_2\text{O}_3$ на кремниевых под-

ложках с дырочной проводимостью ($p\text{-Si}$). Исследованы зависимости проводимости и емкости от напряжения структур $\text{Al}/\text{OH-La}_2\text{O}_3/p\text{-Si}$, где наличие участка с отрицательной дифференциальной проводимостью объясняется переносом протона по цепочке связанных водородными связями молекул воды. ОДП, обусловленная переносом протонов, представляет интерес, поскольку положительно заряженные ионы (H^+) имеют более высокую подвижность, чем подвижность ионов кислорода (O^{2-}). В этой связи использование протонной памяти может улучшить скорость резистивного переключения оперативной памяти RRAM по сравнению с типичными RRAM (мемристорами), основанными на миграции ионов кислорода. ОДП является активным компонентом для построения логических схем, диодов, памяти RRAM, переключателей и датчиков, и представленные здесь данные могут потенциально использоваться для разработки RRAM, используемых в цифровых и аналоговых интегральных микросхемах.

2. Экспериментальная часть

Пленки $\text{OH-La}_2\text{O}_3$ толщиной 40, 140 и 545 нм получены на кварцевой (SiO_2) и кремниевой подложке с p -типом проводимости ($p\text{-Si}$) методом электронно-лучевого напыления. Мишени для напыления изготавливались методом твердофазного синтеза. Порошок оксида лантана 99% чистоты прессовался при давлении $115 \text{ кг}/\text{см}^2$ и отжигался на воздухе при температуре 1430°C в течение 120 мин. Пленки $\text{OH-La}_2\text{O}_3$ напылялись при температуре 250°C . Вакуумная система

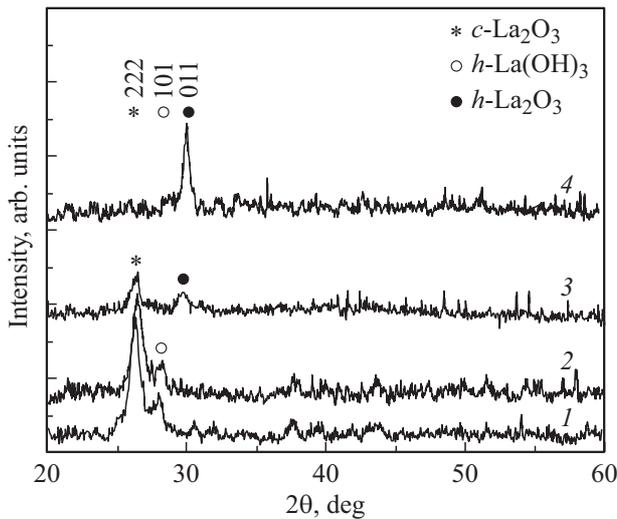


Рис. 1. Рентгенограммы пленки $\text{OH-La}_2\text{O}_3$ толщиной 545 нм на кварцевой подложке (SiO_2) после напыления (1), хранения в вакууме (2) и отжига (3); рентгенограмма пленки $\text{OH-La}_2\text{O}_3$ толщиной 140 нм после напыления (4).

откачки обеспечивала вакуум $\sim 10^{-5}$ Торр. Время напыления составляло 5–20 мин в зависимости от желаемой толщины. Скорость нанесения пленки составляла 60 Å/с.

Структурные, оптические и электрические измерения пленок проводились сразу после изъятия из напылительной установки. Далее пленки хранились в низковакуумной камере с давлением $5 \cdot 10^{-2}$ Торр. После хранения в вакууме пленки отжигались при 650°C в течение 60 мин в вакууме (10^{-2} Торр). Пленку $\text{OH-La}_2\text{O}_3$ толщиной 40 нм подвергали вакуумному отжигу при 500°C в течение 15 мин без предварительного выдерживания в вакуумной камере. Фазовый состав пленок изучали с помощью рентгеновской дифракции (XRD) в геометрии Брэгга–Брентано с $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$) излучением (Дрон-4). Морфологию поверхности и элементный состав образцов исследовали на сканирующем

электронном микроскопе (SEM VEGA TS-5130MM) с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа (EDS) INCA Energy 300 с энергией электронного зонда 14, 18 и 20 кэВ. Инфракрасный спектрофотометр Specord M-80 (Carl Zeiss Jena) использовался для регистрации гидроксильных групп. Ширину запрещенной зоны пленок определяли с помощью UV-VIS-IR спектрофотометров Specord M-40 и СФ-8 (ЛОМО). Толщину пленки определяли методом оптической интерференции, SEM и профилометром Ambios XP-1. Измерения проводимость–напряжение ($\sigma-V$) и емкость–напряжение ($C-V$) образцов проводились на частоте 1 кГц при напряжениях смещения от -10.0 до $+10.0$ В с помощью цифрового RLC-метра E7-8 (Россия). Верхние алюминиевые (Al) электроды площадью $5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$ напылялись методом термического испарения.

3. Результаты и обсуждение

Рентгенограммы пленок $\text{OH-La}_2\text{O}_3$ демонстрируют кристаллическую структуру. Как видно из рис. 1, пленка толщиной 545 нм (спектр 1) содержит кубический ($c\text{-La}_2\text{O}_3$) (JCPDS № 04-0856) и гексагональный гидроксид лантана $h\text{-La(OH)}_3$ (JCPDS № 83-2034). Хранение пленки в низковакуумной камере в течение 10 и 120 дней не влияет на рентгеновские дифракционные спектры (спектр 2). После вакуумного отжига при 650°C в течение 1 ч пик (101), соответствующий La(OH)_3 , исчезает (спектр 3), кубический (222) пик уменьшается по интенсивности и появляется низкоинтенсивный (011) рефлекс, который соответствует гексагональной фазе $h\text{-La}_2\text{O}_3$ (JCPDS № 83-1355). Согласно нашим результатам, пленка толщиной 545 нм состоит из смеси кубической и гексагональной фаз, тогда как пленка толщиной 140 нм демонстрирует гексагональную симметрию (рис. 1, спектр 4).

Отношение сигнал/шум на рентгенограмме пленки толщиной 40 нм низкое, поэтому состав пленки опреде-

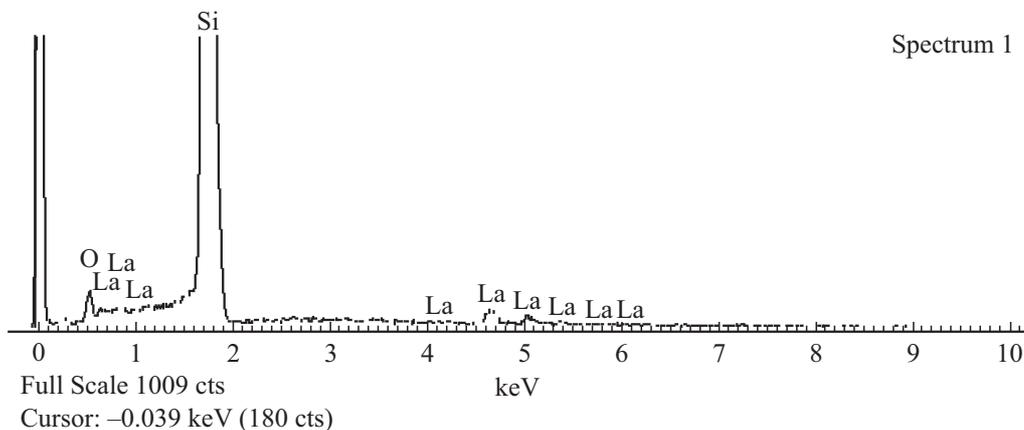


Рис. 2. EDS пленки $\text{OH-La}_2\text{O}_3$ толщиной 40 нм на кремниевой подложке.

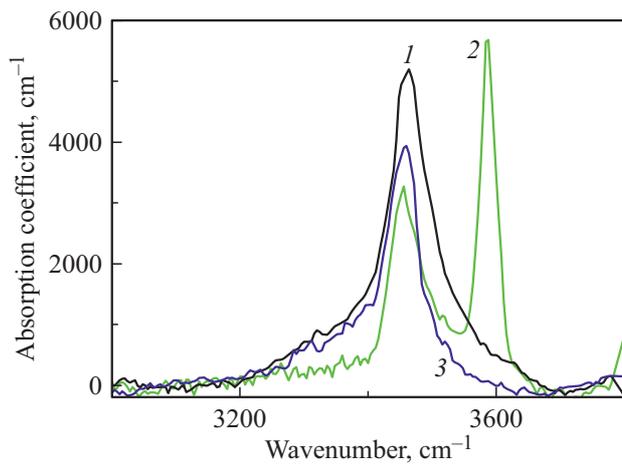


Рис. 3. ИК-спектры пленки $\text{OH-La}_2\text{O}_3$ толщиной 140 нм на кварцевой подложке после напыления (1), хранения в вакууме (2) и отжига (3).

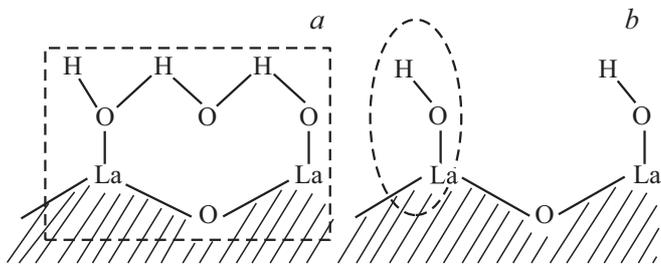


Рис. 4. Связанные (a) и изолированные (b) La–ОН-группы.

ляли с помощью EDS с энергией зонда 14 кэВ. На рис. 2 спектр EDS демонстрирует пики O и La с отношением атомных концентраций $\text{O/La} = 2$. Отношение O/La пленок

толщиной 140 и 545 нм находится в области 1.7–2.2. Легкие элементы, такие как водород, не могут быть зарегистрированы с помощью EDS, поэтому наличие гидроксильных групп в пленках $\text{OH-La}_2\text{O}_3$ определяли методом ИК-спектроскопии. На рис. 3 представлены ИК-спектры поглощения пленки $\text{OH-La}_2\text{O}_3$ толщиной 140 нм на кварцевой подложке после напыления (спектр 1), хранения в вакууме (спектр 2) и отжига (спектр 3).

В результате поглощения воды из окружающей среды наблюдается полоса 3458 cm^{-1} , соответствующая растягивающей моде –ОН-колебания [11]. После хранения пленок в низковакуумной среде при комнатной температуре возникает новая полоса при 3586 cm^{-1} (спектр 2), которая исчезает при отжиге (спектр 3). Эти полосы интерпретируются как свободные (3586 cm^{-1}) и связанные (3458 cm^{-1}) колебания –ОН-группы, атом кислорода которых координирован с поверхностными ненасыщенными ионами лантана (рис. 4). Аналогичные результаты получены для пленок толщиной 40 и 545 нм. Спектры оптического диапазона пленок $\text{OH-La}_2\text{O}_3$ на подложках SiO_2 имеют высокий коэффициент пропускания (90–80%) с оптическим краем, чувствительным к толщине пленки и условиям обработки [10]. Результаты показали, что ширина запрещенной зоны $E_g = 6.12 \text{ эВ}$ уменьшается до 6.06 эВ с увеличением толщины пленки от 140 до 545 нм, тогда как толщина пленок после хранения в вакууме увеличивается по сравнению с толщиной только напыленной пленки, и уменьшается после термического отжига (см. таблицу).

Зависимости проводимости от напряжения ($\sigma-V$) структур $\text{Al/OH-La}_2\text{O}_3/p\text{-Si}$ измерены в диапазоне напряжений $0 \rightarrow 10 \text{ В} \rightarrow 0 \text{ В} \rightarrow -10 \text{ В} \rightarrow 0 \text{ В}$ на частоте 1 кГц. $\sigma-V$ -характеристики трех пленок $\text{OH-La}_2\text{O}_3$, измеренные после напыления, имеют гистерезис и участок

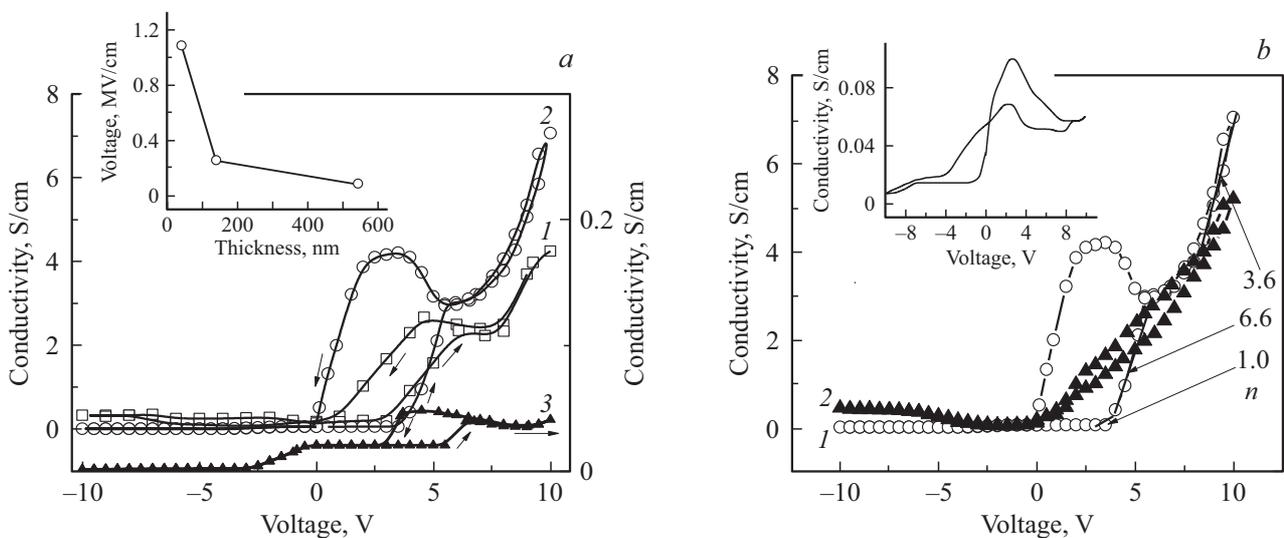


Рис. 5. a — зависимости проводимости от напряжения ($\sigma-V$)-структур $\text{Al/OH-La}_2\text{O}_3/p\text{-Si}$ с толщиной пленок $\text{OH-La}_2\text{O}_3$ 40 (1), 140 (2) и 545 (3) нм после напыления (на вставке представлена зависимость V_{pr} от толщины), b — $\sigma-V$ -зависимость $\text{Al/OH-La}_2\text{O}_3/p\text{-Si}$ после напыления, хранения в вакууме и отжига (вставка) пленки толщиной 140 нм.

Ширина запрещенной зоны (E_g), толщина (d) и частота колебаний –ОН-групп пленок ОН–La₂O₃ толщиной 140 и 545 нм после напыления, хранения в вакууме и отжига [10]

	d , нм	E_g , эВ	d , нм	E_g , эВ	$f_{\text{ОН}}$, см ⁻¹
После напыления	140	6.12	545	6.06	3450
После хранения в вакууме	160	5.92	635	5.903	3450, 3586
После отжига	150	6.04	560	5.958	3450

ОДП при изменении положительной ветви напряжения от 0 до 10 В и выпрямление тока при сканировании от 0 до –10 В (рис. 5, *a*). Отношение максимального значения проводимости к минимальному ($\sigma_{\text{max}}/\sigma_{\text{min}}$) петли гистерезиса равно 14, 80 и 2.6 соответственно для пленок толщиной 40, 140 и 545 нм. После хранения пленок в низковакуумной камере σ – V -характеристики представляют собой обычную экспоненциальную зависимость без ОДП (рис. 5, *b*). ОДП вновь появляется после отжига при 650°C в вакууме (см. вставку на рис. 5, *b*). Можно заметить корреляцию между электрическими и оптическими характеристиками Al/ОН–La₂O₃/*p*-Si-структур. Появление ОДП на кривых σ – V ассоциируется с пиком поглощения при 3458 см⁻¹, тогда как исчезновение ОДП сопровождается появлением дополнительного пика при 3586 см⁻¹. Для количественной дифференциации изолированных и связанных –ОН-групп вычислены площади под пиками, используя форму спектральной линии Лоренца. Площадь пика при 3458 см⁻¹ между 3000–3800 см⁻¹ составляет $6.38 \cdot 10^5$ см⁻² после напыления (спектр *I*). Появление пика при 3586 см⁻¹ площадью $2.0 \cdot 10^5$ см⁻² сопровождается уменьшением пика 3458 см⁻¹ до площади $2.6 \cdot 10^5$ см⁻² и исчезновением ОДП, что можно объяснить разрывом водородных связей из-за тепловых флуктуаций. После отжига при 650°C появляется участок ОДП, и площадь пика при 3458 см⁻¹ увеличивается до $4.03 \cdot 10^5$ см⁻², т.е. низковакуумный отжиг увеличивает количество связанных –ОН-групп. Согласно литературным данным [12], ОДП обычно основана на квантовом туннелировании и междолинном переносе носителей заряда. В данном случае туннелирование не является причиной возникновения ОДП, поскольку ОДП в Al/ОН–La₂O₃/*p*-Si сильно зависит от направления развертки напряжения. Согласно литературным данным [13–17], ОДП может возникнуть в результате бистабильного межфазного переключения, окислительно-восстановительной реакции и протон-опосредованных механизмов. Во всех этих механизмах бистабильные состояния обусловлены химическими реакциями. Например, при бистабильном межфазном переключении ОДП происходит в результате перехода от сильного к слабому химическому связыванию [13–16].

В случае окислительно-восстановительного механизма ОДП происходит за счет окисления и восстановления активных молекул при определенном напряжении [17]. Происхождение ОДП в структурах Al/ОН–La₂O₃/*p*-Si можно объяснить протонной проводимостью, возникающей в результате диссоциации воды ($\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$) на поверхности пленки. Молекулы воды вблизи анода в результате электролиза диссоциируют на протон H^+ и гидроксильную группу OH^- , а быстрый дрейф протонов [18] к катоду и медленное движение OH^- к месту диссоциации, где число протонов убывает, инициирует ОДП. Кроме того, согласно прыжковому механизму Гротта [19], протон в форме иона гидрония (H_3O^+) может мигрировать вдоль границ зерен, двигаясь к катоду по цепочкам молекул воды, связанных водородными связями. Этот механизм включает также транспорт OH^- , рассматриваемый в качестве „протонной дыры“ и имеет важное значение для объяснения протонного переноса как на поверхности, так и на границах зерен пленки ОН–La₂O₃.

Для лучшего понимания механизма проводимости проведено фитирование кривых σ – V в соответствии с ТОПЗ (ток, ограниченный пространственным зарядом), эмиссией Шоттки $\ln I \propto V^{1/2}$, эмиссией Пула–Френкеля $\ln(I/V) \propto V^{1/2}$ и туннелированием Фаулера–Нордгейма $\ln(I/V^2) \propto (1/V)$ [1–5, 20, 21]. Фитирование вольт-амперных кривых показало, что доминирующим механизмом проводимости Al/ОН–La₂O₃/*p*-Si является ТОПЗ ($I \sim V^n$, n — наклон кривой). На рис. 5, *b* показаны области, где значение наклона $n = 1$ (закон Ома) в области $V < 3.6$ В увеличивается до 6.6 в области $3.6 < V < 5.6$ В и 3.6 при $V > 7$ В, что соответствует ТОПЗ, когда все ловушки оказываются заполненными [22]. Вольт-амперные характеристики образцов, хранящихся в вакууме, следовали закону Чайлда ($n = 2$). Протонный вклад в общую проводимость устройств обнаруживается при определенном напряжении (V_{Pr}), соответствующем максимуму тока, после которого ток уменьшается при увеличении напряжения. Как видно на вставке рис. 5, *a*, напряженность V'_{Pr} уменьшается с увеличением толщины пленки и составляет $1.2 \cdot 10^6$, $0.23 \cdot 10^6$ и $0.08 \cdot 10^6$ В/см для пленок соответственно толщиной 40, 140 и 545 нм. Таким образом, для разрыва водородных связей в толстых пленках требуются меньшие напряжения, чем в тонких пленках.

На рис. 6 приведены вольт-фарадные (ВФХ) характеристики (C – V) структур Al/ОН–La₂O₃/*p*-Si с разными толщинами пленок ОН–La₂O₃. Зависимости C – V характерны для устройств с нелинейной емкостью и имеют гистерезис, который указывает на наличие подвижных ионов. C – V -характеристики структур Al/ОН–La₂O₃/*p*-Si показывают положительный сдвиг напряжения плоских зон, свидетельствующий о наличии отрицательного встроенного заряда. Для оценки количества подвижных ионов N_{SS} (поверхностная плотность) используется сле-

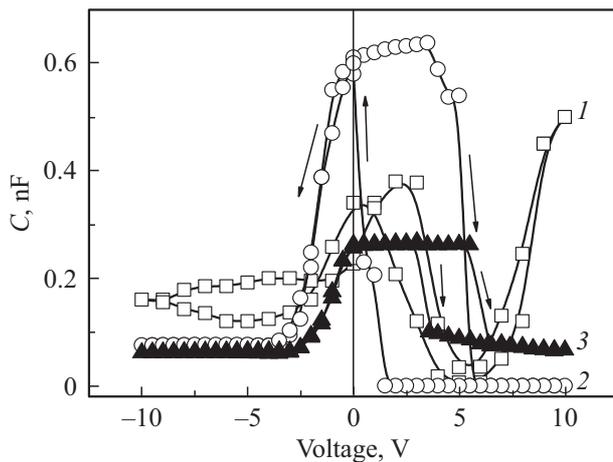


Рис. 6. $C-V$ -характеристики $\text{Al}/\text{OH}-\text{La}_2\text{O}_3/p\text{-Si}$ структур с толщинами пленок $\text{OH}-\text{La}_2\text{O}_3$ 40 (1), 140 (2) и 545 (3) нм.

дующее выражение [23]:

$$N_{SS} = \frac{\delta V C_{\max}}{eS}, \quad (1)$$

где S — площадь верхнего электрода, δV — величина гистерезиса, C_{\max} — максимальная емкость, e — заряд электрона. N_{SS} пленок толщиной 40, 140 и 540 нм составляет соответственно $1.2 \cdot 10^{12}$, $5.5 \cdot 10^{12}$ и $0.9 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$.

Диэлектрическая проницаемость рассчитывается на основе формулы емкости конденсатора с параллельными пластинами как

$$C_{ox} = \frac{\epsilon \epsilon_0 A}{d_{ox}}, \quad (2)$$

где ϵ — диэлектрическая проницаемость оксида, ϵ_0 — диэлектрическая постоянная ($8.85 \cdot 10^{-3} \text{ пФ/мкм}$), d_{ox} — толщина оксидного слоя, A — площадь электрода. Диэлектрическая проницаемость равна 19, что намного ниже, чем в случае безводного $h\text{-La}_2\text{O}_3$ ($\epsilon = 27$), но больше, чем $\epsilon = 4$ для SiO_2 .

4. Заключение

В данной работе исследованы проводящие ($\sigma-V$) и емкостные ($C-V$)-характеристики поверхностно-гидрированных пленок $\text{OH}-\text{La}_2\text{O}_3$, напыленных на кремниевые подложки с p -типом проводимости. Выявлена ОДП в структурах $\text{Al}/\text{OH}-\text{La}_2\text{O}_3/p\text{-Si}$, которая исчезает при хранении пленок в вакуумной камере. ОДП восстанавливается путем низковакуумного отжига при 650°C . Наблюдается хорошая корреляция между ИК поглощением $-\text{OH}$ -групп и электрическими характеристиками. Происхождение ОДП объясняется переносом протонов по цепочкам молекул воды, связанных водородными связями на поверхности пленки $\text{OH}-\text{La}_2\text{O}_3$.

Финансирование работы

Работа выполнена при поддержке Российско-Армянского университета по постановлению Министерства образования и науки РФ.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] C.H. Hsu, M.T. Wang, J. Ya-Min Lee. *J. Appl. Phys.*, **100**, 074108 (2006).
- [2] K. Xiong, J. Robertson. *Appl. Phys. Lett.*, **95**, 022903 (2009).
- [3] Y. Wang, R. Jia, C. Li, Y. Zhang. *AIP Adv.*, **5**, 087166 (2015).
- [4] M. Gutowski, J.E. Jaffe, C.-L. Liu, M. Stoker, R.I. Hegde, R.S. Rai, P.J. Tobin. *Appl. Phys. Lett.*, **80**, 1897 (2002).
- [5] Liu Qi-Ya, Fang Ze-Bo, Ji Ting, Liu Shi-Yan, Tan Yong-Sheng, Chen Jia-Jun, Zhu Yan-Yan. *Chin. Phys. Lett.*, **31**, 027702 (2014).
- [6] C. Yang, H. Fan, Sh. Qiu, Y. Xi, Y. Fu. *Surf. Rev. Lett.*, **15**, 271 (2008).
- [7] Lin Chen, Wen Yang, Ye Li, Qing-Qing Sun, Peng Zhou, Hong-Liang Lu, Shi-Jin Ding, D. Wei Zhang. *J. Vac. Sci. Technol. A*, **30**, 01A148 (2012).
- [8] H. Zhao, H. Tu, H.F. Wei, Y. Xiong, X. Zhang, J. Du. *Phys. Status Solidi (RRL)*, **7**, 1005 (2013).
- [9] Y. Zhao, M. Toyama, K. Kita, K. Kyuno, A. Toriumi. *Appl. Phys. Lett.*, **88**, 072904 (2006).
- [10] A. Igityan, N. Aghamalyan, S. Petrosyan, I. Gambaryan, G. Badalyan, R. Hovsepian, Y. Kafadaryan. *Appl. Phys. A*, **123**, 448 (2017).
- [11] A.Š. Vuk, R. Ješe, B. Orel, G. Dražić. *IJP*, **7**, 163 (2005).
- [12] L. Esaki. *Phys. Rev.*, **109**, 603 (1958).
- [13] J. Chen, M.A. Reed, A.M. Rawlett, J.M. Tour. *Science*, **286**, 1550 (1999).
- [14] N.A. Zimbovskaya, M.R. Pederson. *Phys. Rev. B*, **78**, 153105 (2008).
- [15] Q. Tang, H.K. Moon, Y. Lee, S.M. Yoon, H.J. Song, H. Lim, H.C. Choi. *J. Am. Chem. Soc.*, **129**, 11018 (2007).
- [16] H.K. Lee, M.H.C. Jin. *Appl. Phys. Lett.*, **97**, 013306 (2010).
- [17] D. Joung, L. Anjia, H. Matsui, S.I. Khondaker. *Appl. Phys. A: Mater. Sci. Process*, **112**, 305 (2013).
- [18] Song Hi Lee, Jayendran C. Rasaiah. *J. Chem. Phys.*, **135**, 124505 (2011).
- [19] Takeo Miyake, Marco Rolandi. *J. Phys.: Condens. Matter*, **28**, 023001 (2016).
- [20] S.M. Sze. *Physics of Semiconductor Devices* (Wiley, N.Y., 1969).
- [21] Т.В. Бланк, Ю.А. Гольдберг. *ФТП*, **41**, 1281 (2007).
- [22] M.A. Lampert. *Phys. Rev.*, **103**, 1648 (1956).
- [23] Л.П. Павлов. *Методы измерения параметров полупроводниковых материалов* (М., Высш. шк., 1987).

Редактор Г.А. Оганесян

Negative differential conductivity in lanthanum oxide based structures

A. Igityan^{1,2}, N. Aghamalyan^{1,2}, R. Hovsepyan^{1,2},
S. Petrosyan^{1,2}, G. Badalyan¹, I. Gambaryan¹,
A. Papikyan¹, Y. Kafadaryan^{1,2}

¹ Institute for Physical Research
of National Academy of Sciences of Armenia,
0203 Ashtarak, Armenia

² Russian-Armenian University,
0051 Yerevan, Armenia

Abstract Using the method of electron beam evaporation, transparent surface-hydrogenated lanthanum oxide films (OH–La₂O₃) with a thickness of 40, 140, and 545 nm were prepared. The electrical and optical characteristics of Al/OH–La₂O₃/p-Si structures were studied, where aluminum and a silicon substrate with p-type conductivity were used as the upper and lower electrodes, respectively. A region of negative differential conductivity (NDC) was found on the voltage dependence of conductivity at forward bias; the possible mechanism of NDC is explained by proton transfer along chains of water molecules bound by hydrogen bonds on the surface of an OH–La₂O₃ film.