

УДК 538.971

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННОГО ГЕКСАБОРИДА ЛАНТАНА

А.С. ИГИТЯН¹, Е.А. КАФАДАРЯН^{1*}, Н.Р. АГАМАЛЯН¹, С.И. ПЕТРОСЯН¹,
Г.Р. БАДАЛЯН¹, И.А. ГАМБАРЯН¹, Р.К. ОВСЕПЯН¹, О.С. СЕМЕРДЖЯН²

¹Институт физических исследований НАН Армении, Аштарак, Армения

²Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

*e-mail: kafad@ipr.sci.am

(Поступила в редакцию 16 января 2014 г.)

Исследована возможность выращивания оксида лантана (La_2O_3) на поверхности гексаборида лантана (LaB_6) с (100)- и (100/110)-ориентацией в условиях термического отжига с целью получения структуры металл-оксид-металл. Электронно-микроскопические изображения, рентгеновские и оптические спектры выявили слой La_2O_3 кубической симметрии. Рассмотрены особенности вольт-амперных и вольт-фарадных характеристик структур $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100)\text{LaB}_6$ и $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100/110)\text{LaB}_6$. Механизм электрической проводимости объяснен на основе тока, ограниченного пространственным зарядом.

1. Введение

LaB_6 обладает структурой типа CsCl (пространственная группа $Pm\bar{3}m$), в которой (100)-ориентированная поверхность LaB_6 состоит из атомов лантана, а (111)-поверхность состоит из бора [1,2]. В работах [1-3] показано, что бор на поверхности (111) взаимодействует с кислородом, образуя В–О связи, тогда как связи La–О образуются на поверхности (100) при взаимодействии лантана с кислородом.

Оксид лантана (La_2O_3) из-за высокой диэлектрической проницаемости и широкой запрещенной зоны [4,5] является перспективным диэлектриком для использования в качестве подзатворного слоя в структурах метал-оксид-полупроводник в динамических энергонезависимых элементах памяти [6,7]. В работе [8] сообщалось об использовании структуры $\text{ZnO}:\text{Li}/\text{LaB}_6$ в качестве сегнетоэлектрического бистабильного элемента памяти. Создание промежуточного слоя La_2O_3 в $\text{ZnO}:\text{Li}/\text{LaB}_6$ может улучшить характеристики (сегнетоэлектрический гистерезис, токи утечки, объем памяти) $\text{ZnO}:\text{Li}$, как это показано для $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3/\text{La}_2\text{O}_3$ и $\text{PbZr}_{0.6}\text{Ti}_{0.4}/\text{La}_2\text{O}_3$ [9,10].

В данной работе главное внимание уделено изучению поверхностного слоя La_2O_3 , образующегося после термической обработки пленки LaB_6 . Измерены проводимость и емкость структур $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100)\text{LaB}_6$ и $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100/110)\text{LaB}_6$ и ток электронной эмиссии из пленок LaB_6 до и после отжига.

2. Методика эксперимента

(100)-ориентированные пленки LaB_6 (далее (100) LaB_6) и пленки со смешанной (100)- и (110)-ориентацией (далее (100/110) LaB_6) толщиной 280 и 600 нм, соответственно, были напылены на (100)-ориентированные подложки из окиси магния (MgO) при 850°C электронно-лучевым способом [11]. Скорость напыления составляла 3.7 и 6.4 Å/с для (100) LaB_6 и (100/110) LaB_6 , соответственно. Пленки LaB_6 были отожжены в электропечи при температуре 400°C в течение 30 минут в кислородной среде. Далее образцы погружались в дистиллированную воду на 30 минут и повторно отжигались при 650°C в вакууме при давлении 2.7×10^{-2} Тор в течение 30 минут. Скорость нагрева была $0.6^\circ\text{C}/\text{с}$. После отжига температура печи понижалась естественным путем до комнатной в той же среде.

Состав и структурные характеристики пленок гексаборида лантана были изучены методами рентгеновской дифрактометрии (РД) с излучением CuK_α (дифрактометр ДРОН-1) и отражательной спектроскопии в видимом, ближнем (300–2500 нм) и дальнем ($200\text{--}4000\text{ см}^{-1}$) инфракрасном (ИК) диапазонах (спектрофотометры СФ-8, Specord M-80). Поверхностная структура пленки изучалась сканирующим электронным микроскопом (СЭМ) Vega TS-5130MM с использованием системы INCA Energy 300 для элементного анализа.

Вольт-фарадные ($C\text{--}V$) и вольт-амперные ($I\text{--}V$) характеристики отожженных пленок LaB_6 были измерены на частоте 1 кГц при напряжениях от -10 В до $+10$ В при помощи цифрового LCR-измерителя Е7-8. Верхний Al электрод площадью $3.4 \times 10^{-3}\text{ см}^2$ был нанесен термическим напылением. Толщина пленки измерялась с помощью СЭМ, оптической интерференции и профилометра Ambios XP-1. Электронная эмиссия из пленок LaB_6 до и после отжига была измерена с помощью диодной схемы.

3. Результаты и обсуждение

3.1. Структурные характеристики

На рис.1 показаны рентгеновские спектры структур (100) LaB_6/MgO и (100/110) LaB_6/MgO после отжига при 400°C в кислороде, погружения в дистиллированную воду и последующего отжига в вакууме. Согласно рентгеновским идентификационным картам (JCPDS, карта 34-0427), дифракционные пики при $2\theta = 21.354^\circ$ (100) и 43.517° (200) относятся к (100)-ориентированным пленкам LaB_6 , а пик (110) при $2\theta = 30.47^\circ$ принадлежит пленке (100/110) LaB_6 . На рентгеновских спектрах пленок LaB_6 , отожженных при 400°C в кислороде, отсутствуют рефлексы какого-либо окисла или новообразованного соединения. После погружения в дистиллированную воду и последующего отжига в вакууме при 650°C пики на спектре образца (100/110) LaB_6 (рис.1а) соответствуют отражениям (332), (222) и (622) кубического оксида лантана (La_2O_3), тогда как рентгеновский спектр (100) LaB_6 указывает на преимущественную (400)-ориентацию

кубического La_2O_3 (рис.1b). Пики идентифицированы согласно статьям [1-3,12] и JCPDS картам 04-0856, 54-0213, 83-2034. Рефлексы, соответствующие оксиду бора, гидроксиду лантана, бората лантана или карбоната лантана, не зарегистрированы.

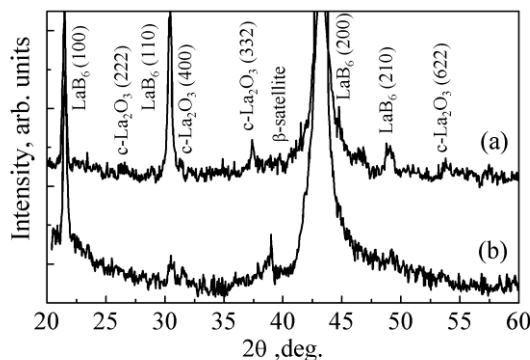


Рис.1. Рентгеновские спектры пленок (a) (100/110) LaB_6 и (b) (100) LaB_6 после отжига в вакууме при 650°C .

СЭМ изображения (100)- и (100/110)-ориентированных пленок LaB_6 , отожженных при 400°C в кислороде (рис.2a,b), выявили гранулированную поверхностную структуру, хотя соответствующие рентгеновские спектры не зарегистрировали присутствие оксидного слоя. Элементный анализ пленок LaB_6 показал, что соотношение атомных концентраций B/La в самой пленке и O/La на поверхности пленки, соответственно, равно 6 и ~ 2.7 . Последующая обработка измеренных атомных концентраций программой StrataGem показала, что окисленные пленки LaB_6 включают гидроксид лантана, $\text{La}(\text{OH})_3$, вследствие поглощения влаги, а толщина пленок (100) LaB_6 и (100/110) LaB_6 уменьшилась, соответственно, до 250 и 590 нм. Наличия оксида бора в обеих структурах не выявлено.

СЭМ изображения структур, полученных после погружения в дистиллированную воду и повторного отжига (650°C , 30 минут), представлены на рис.2c,d. Рис.2c демонстрирует островковую структуру La_2O_3 на поверхности (100) LaB_6 , тогда как поверхность La_2O_3 /(100/110) LaB_6 является целостной, с равномерным распределением гранул (рис.2d). По-видимому, структура La_2O_3 зависит как от скорости образования центров роста, так и от ориентации подложки. Толщина оксидного слоя увеличилась до 60 и 100 нм, и, соответственно, толщина пленок (100) LaB_6 и (100/110) LaB_6 уменьшилась до 220 и 500 нм. По результатам СЭМ, РД и спектроскопическим данным оксид бора не присутствует в исследуемых образцах. Мы предполагаем, что отжиг пленок LaB_6 в кислороде при 400°C создает структуру $\text{La}(\text{OH})_3/\text{La}_2\text{B}_{12}\text{O}_{21}/\text{LaB}_6$ [3]. $\text{La}_2\text{B}_{12}\text{O}_{21}$ представляет собой аморфный переходный слой, который переходит в гидроксид лантана $\text{La}(\text{OH})_3$ и борную кислоту H_3BO_3 после гидратации ($2\text{La}_2\text{B}_{12}\text{O}_{21} + 42\text{H}_2\text{O} = 4\text{La}(\text{OH})_3 + 24\text{H}_3\text{BO}_3$). H_3BO_3 растворяется в воде из-за его высокой

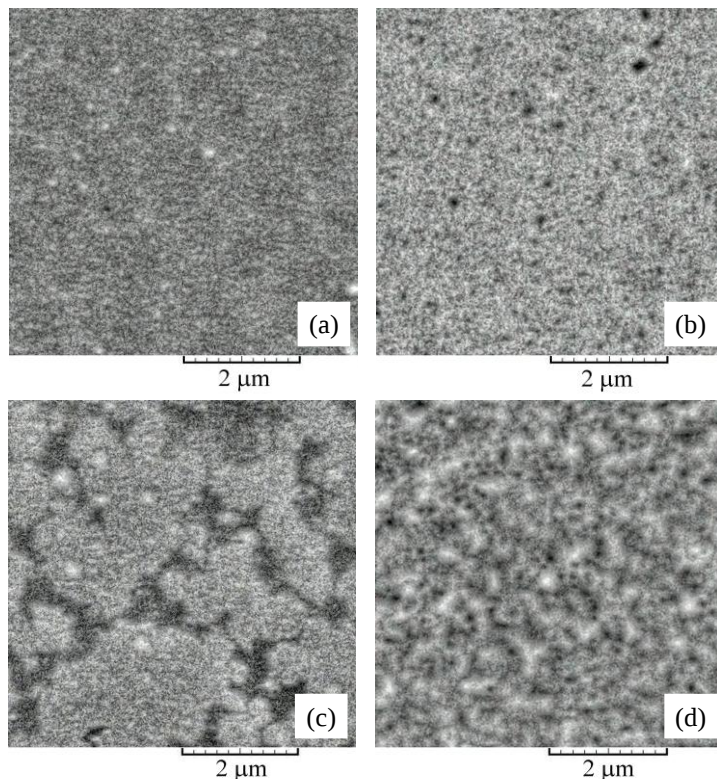


Рис.2. СЭМ изображения поверхностей пленок (a) $(100)\text{LaB}_6$ и (b) $(100/110)\text{LaB}_6$ после отжига в кислороде при 400°C в течение 30 мин, (c) и (d) – после отжига при 650°C в вакууме в течение 30 мин, соответственно.

растворимости, а $\text{La}(\text{OH})_3$ после отжига при 650°C в вакууме переходит в La_2O_3 ($4\text{La}(\text{OH})_3 = 2\text{La}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{O}\uparrow$).

Влияние отжига на ИК спектры отражения пленок $(100)\text{LaB}_6$ и $(100/110)\text{LaB}_6$ показано на рис.3а,б. Кислородный отжиг LaB_6 при 400°C почти не изменил спектры отражения образцов. Полоса вблизи 3800 см^{-1} соответствует колебаниям гидроксильных групп ($\text{O}-\text{H}$). Пики, соответствующие колебаниям $\text{La}-\text{O}$ в области $200-500\text{ см}^{-1}$, не выявлены, потому что фоновая структура прозрачной оксидной пленки экранируется отражением от нижнего металлического слоя LaB_6 . Ступень на частоте 660 см^{-1} , обнаруженная во всех спектрах пленок LaB_6 , является результатом решеточных колебаний бора [1,2,12]. Величина отражения отожженных пленок LaB_6 уменьшается с увеличением волнового числа из-за формирования поверхностного оксидного слоя, который заметно влияет на величину отражения в видимом и ближнем ИК диапазонах. На спектрах отражения пленок LaB_6 до отжига (рис.4, кривые 1,2) наблюдается резкий плазменный край с минимумом вблизи 600 нм , что определяет гладкую малодефектную поверхность пленок LaB_6 [11]. Крутой наклон кривой 3, полученной после отжига $(100)\text{LaB}_6$ при 650°C , означает гладкую поверхность раз-

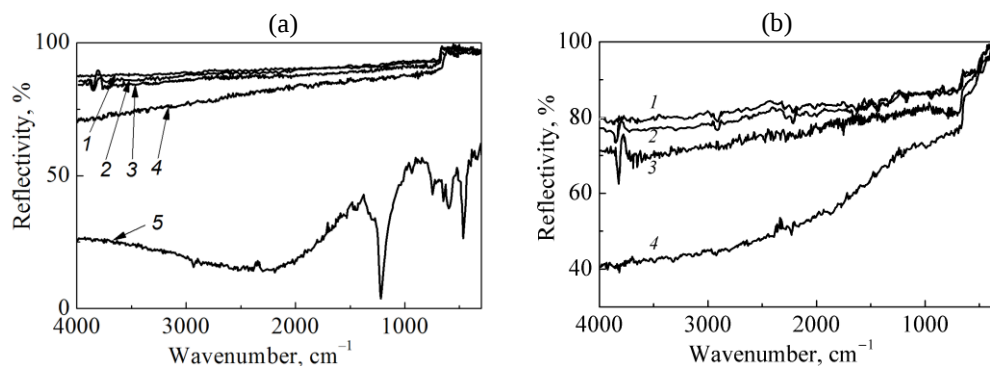


Рис.3. ИК спектры отражения пленок (а) (100)LaB₆ и (б) (100/110)LaB₆: (1) до отжига, (2) после отжига при 400°C в кислороде, (3) после погружения в воду на 30 мин, (4) после отжига при 650°C в вакууме в течение 30 мин, (5) после отжига при 650°C в течение 30 мин на воздухе.

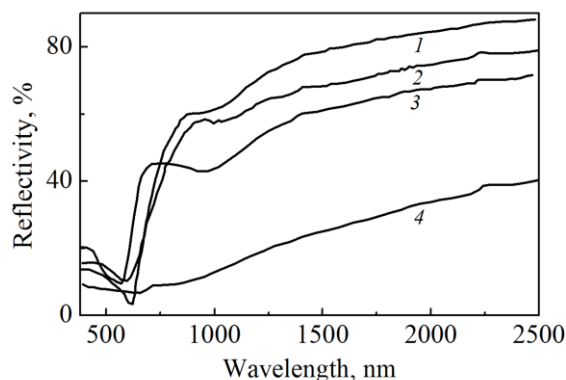


Рис.4. Спектры отражения пленок (1) (100)LaB₆ и (2) (100/110)LaB₆ в видимом и ближнем ИК диапазонах длин волн; (3) и (4) после отжига при 650°C в вакууме, соответственно.

дела структуры La₂O₃/(100)LaB₆. Пологий наклон плазменного края и низкое отражение проявляются в спектрах La₂O₃/(100/110)LaB₆ (кривая 4), что является результатом интенсивного рассеяния свободных носителей заряда на дефектах как в слое La₂O₃, так и на границе La₂O₃/(100/110)LaB₆.

Следует отметить, что данные РД, СЭМ и ИК спектров пленок LaB₆, отожженных при 650°C в вакууме, качественно отличаются от результатов отжига на воздухе. В последнем случае, согласно рентгеновскому спектру, не представленному здесь, пленка превращается в La₂(CO₃)₃(H₂O)₈. ИК спектр La₂(CO₃)₃(H₂O)₈, полученный после отжига LaB₆ при 650°C на воздухе в течение 30 мин, представлен на рис.3а (кривая 5).

3.2. Электрические измерения

Электрические характеристики метал–оксид–метал (MOM) конденсаторов с пленкой La_2O_3 толщиной 60 и 100 нм, где Al используется в качестве верхнего электрода, а LaB_6 – в качестве нижнего электрода, измерялись на частоте 1 кГц при напряжениях от -10 В до $+10$ В. На рис.5а,б изображены вольт–амперные (I – V) характеристики структур $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100/110)\text{LaB}_6$ и $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100)\text{LaB}_6$. Кривые I – V измерялись при увеличении напряжения от нуля до максимального значения и при понижении напряжения до нуля, $V > 0$ для Al^+ , $V < 0$ для Al^- . На рис.5а,б кружки соответствуют повышению напряжения, а квадраты – понижению. Кривые I – V для $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100)\text{LaB}_6$ и $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100/110)\text{LaB}_6$ являются экспоненциальными и асимметричными по полярности, указывая на то, что механизм, ответственный за проводимость, в обоих образцах один и тот же и зависит от величины энергетического барьера на контактах $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3$ и $\text{La}_2\text{O}_3/\text{LaB}_6$.

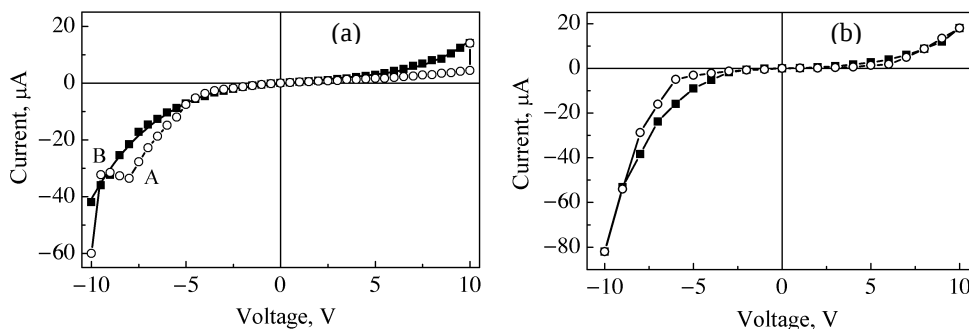


Рис.5. Вольт–амперные характеристики образцов (а) $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100)\text{LaB}_6$ и (б) $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100/110)\text{LaB}_6$. Кружки соответствуют повышению напряжения, за-полненные квадраты – понижению.

Как видно из рис.5, ток утечки I при $V < 0$ намного больше, чем при $V > 0$. Максимальный ток утечки для структуры $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100/110)\text{LaB}_6$ был -82 мкА (-0.24 А/см²), а при напряженности электрического поля -1 МВ/см он уменьшился до -10.3 мкА (-0.03 А/см²) для $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100)\text{LaB}_6$. Максимальный ток утечки -55 мкА (-0.12 А/см²) для $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100)\text{LaB}_6$ был получен при напряженности электрического поля -1.82 МВ/см. Резкое увеличение тока при малых изменениях напряжения может быть следствием пробоя. Пробой пленок $\text{La}_2\text{O}_3/(100)\text{LaB}_6$ возникает при $V > -8$ В (точки “А” и “В” на рис.5а). После пробоя кривые I – V воспроизводятся при повторных измерениях, т.е. имеет место неdestructивный пробой [13]. Мотт и Гарни [14] первыми показали, что большие токи могут проходить через тонкую диэлектрическую пленку, если током управляет пространственный заряд, а не инжекция заряда в зону проводимости. Они показали, что если контакт металл–диэлектрик омический, то ток

через МОМ структуру может быть током, ограниченным пространственным зарядом и изменяющимся по закону $J \propto V^2/d^3$, где J – плотность тока, V – приложенное напряжение и d – толщина диэлектрика. Ламперт и Марк [15] привели эту зависимость к следующему виду:

$$J = \frac{9}{8} \epsilon \mu \theta \frac{V^2}{d^3}, \quad (1)$$

где μ – дрейфовая подвижность свободных носителей заряда, θ – соотношение свободных зарядов и зарядов в ловушках. Реальные диэлектрики, особенно такие, как La_2O_3 , сформированные путем отжига LaB_6 , имеют много ловушек из-за структурных дефектов и нестехиометричности. Для идеального диэлектрика без ловушек $\theta = 1$, а для диэлектрика с ловушками $\theta < 1$. Значения μ для диэлектриков определить нелегко. Из литературных данных эти значения находятся в области 10^{-4} – 10^{-1} $\text{см}^2/\text{Вс}$ [15]. При $\mu = 10^{-1}$ $\text{см}^2/\text{Вс}$, $\theta = 1$, $V = 2.5$ В, $d = 60$ нм и $\epsilon = 11$ (2.84×10^{-12} Ф/см) уравнение (1) дает $J \approx 10^4$ А/см², что гораздо больше измеренных токов ($\sim 10^{-3}$ А/см² при 2.5 В) и соответствует случаю $\theta < 1$ [16]. Если предположить, что $I \propto V^n$ (модифицированный закон Чайлда), то $\log$ – $\log$ зависимость I от V дает экспоненту n [16]. При слабых электрических полях ($< |2.5|$ В) I – V зависимость на рис.5а имеет омическое поведение с наклоном $n \sim 1$. При $V > |2.5|$ В имеем $n = 2.7$ и 2.6 соответственно для положительных и отрицательных напряжений. Такое поведение наблюдалось также для структуры $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100/110)\text{LaB}_6$, для которой показатель n равен 2.9 для $V > 0$ и $n = 2.7$ для эквивалентных отрицательных напряжений. Согласно Ламперту [16], случай $n > 2$ означает, что в запрещенной зоне La_2O_3 имеются глубокие уровни электронных ловушек. Наблюдаемое I – V поведение пленок La_2O_3 соответствует проводимости, обусловленной током, ограниченным пространственным зарядом [17]. При положительном напряжении (Al^+) электроны инжектируются из нижнего электрода LaB_6 в La_2O_3 и захватываются ловушками, что приводит к маленьким токам утечки. Ток начинает увеличиваться с напряжением из-за высвобождения носителей заряда из ловушек.

Изменение емкости конденсаторов $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100)\text{LaB}_6$ и $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100/110)\text{LaB}_6$ с изменением напряжения представлено на рис.6. Емкость не изменяется при $V > 0$, она незначительно понижается с увеличением напряжения, когда минус приложен на Al электрод. Такое понижение может быть связано как с подвижными, так и с локальными зарядами, захваченными ловушками. Скачок при $V = 0$ возникает в результате асимметрии МОМ структуры из-за разной величины потенциального барьера на контактах. Когда два металла с работами выхода Φ_1 и Φ_2 контактируют с диэлектриком для создания МОМ структуры, барьер для электронной инжекции из первого металла в диэлектрик равен $\Delta_A = \Phi_1 - \chi$, а барьер для второго перехода металл–диэлектрик есть $\Delta_B = \Phi_2 - \chi$ (χ – сродство к электрону диэлектрика). Параметры, соответствующие асимметричной структуре $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/\text{LaB}_6$ следующие: $\Phi_1 \approx 2.6$ эВ для LaB_6 , $\Phi_2 \approx 4.2$ эВ для Al , $E_g \approx 5$ эВ [4], $\chi \approx 1.7$ эВ [7], $\Delta_A \approx 0.9$ эВ для $\Delta_B \approx 2.5$ эВ.

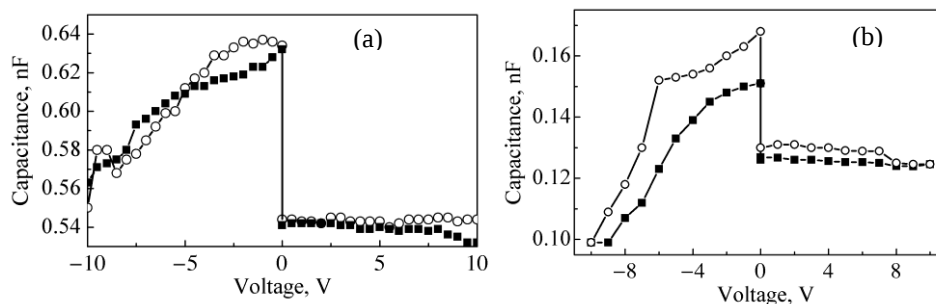


Рис.6. Вольт-фарадные характеристики структур (a) Al/La₂O₃/(100)LaB₆ и (b) Al/La₂O₃/(100/110)LaB₆. Пустые кружки соответствуют повышению напряжения, заполненные квадраты – понижению.

Диэлектрическая проницаемость La₂O₃ рассчитана по следующей формуле:

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

где ϵ – диэлектрическая проницаемость оксида, ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума (8.85×10^{-3} Ф/мкм), d_{ox} – толщина оксидного слоя, A – площадь верхнего электрода. Для структур La₂O₃/(100/110)LaB₆ и La₂O₃/(100)LaB₆ диэлектрические проницаемости соответственно равны 4 и 11.

На рис.7 представлена схема для измерения плотности тока электронной эмиссии, где медная пластинка использована в качестве анода, изолированного от пленки (100)LaB₆ тefлоновой прокладкой толщиной 0.13 мм. Вакуум в камере достигал 5×10^{-3} Тор. Ток измерялся с помощью микроамперметра постоянного тока М-2000, напряжение подавалось от высоковольтного источника постоянного напряжения ПВ-2-2. Диаметр “сечения” тока эмиссии составлял 8 мм.

Зависимости плотности тока эмиссии от напряженности поля U для

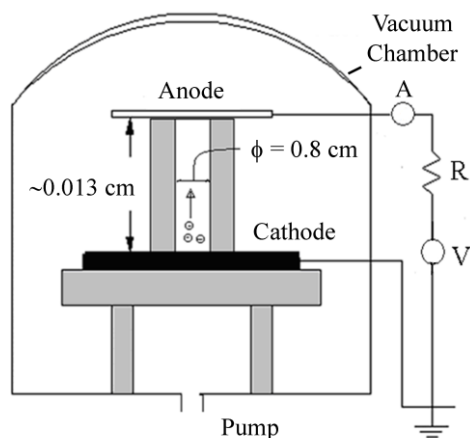


Рис.7. Схема для измерения тока эмиссии.

пленки (100)LaB₆ до и после отжига представлены на рис.8. Пороговая напряженность до отжига составляет ~65 кВ/см. С увеличением напряженности до 130 кВ/см ток эмиссии возрастает до 1.2 мкА/см². Кривая 1 имеет линейный участок (для $U > 90$ кВ/см), соответствующий зависимости Фаулера–Нордгейма [18]:

$$J \sim U^2 \exp(-b/U),$$

где b – константа, не зависящая от U . На вставке рис.8 в координатах Фаулера–Нордгейма приведена вольт-амперная зависимость для пленки (100)LaB₆ до отжига. После отжига ток эмиссии заметно понизился и составил ~0.05 мкА/см² при пороговой напряженности ~100 кВ/см, что сравнимо с точностью измерения микроамперметра. Образование на поверхности (100)LaB₆ оксидного слоя на 2 порядка понижает величину эмиссионного тока, что обусловлено большей работой выхода электрона из оксида лантана ($\Phi_{\text{La}_2\text{O}_3} \approx 3.3$ эВ) по сравнению с LaB₆.

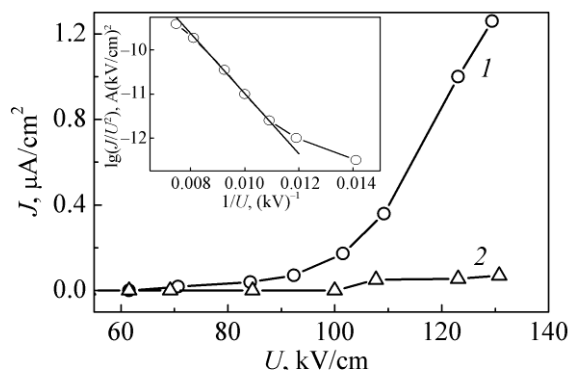


Рис.8. Зависимость плотности тока электронной эмиссии от напряженности поля для LaB₆(100) (1) до и (2) после отжига. Вставка – вольт-амперная зависимость электронной эмиссии из LaB₆(100) до отжига в координатах Фаулера–Нордгейма.

4. Заключение

Путем термического отжига (100)- и смешанно (100/110)-ориентированных пленок LaB₆ получен поверхностный слой оксида лантана кубической симметрии. Из зависимостей тока утечки от напряжения показано, что лучшие электрические характеристики получены для пленок LaB₆ с ориентацией (100). Диэлектрическая проницаемость пленки La₂O₃, полученной на 100(LaB₆), равна 11, что существенно превышает $\epsilon = 4$ в случае La₂O₃/(100/110)LaB₆. Ток, ограниченный пространственным зарядом, является основным механизмом, отвечающим за проводимость в структурах Al/La₂O₃/LaB₆, а ток полевой эмиссии электронов из LaB₆ обусловлен эффектом Фаулера–Нордгейма, который существенно понижается в случае La₂O₃/LaB₆.

ЛИТЕРАТУРА

1. **T. Yorisaki, A. Tillekaratne, Y. Ren, Y. Moriya, C. Oshima, S. Otani, M. Trenary.** Surf. Sci., **606**, 247 (2012).
2. **M. Trenary.** Sci. Technol. Adv. Mater., **13**, 023002 (2012).
3. **Chung-Han Wen, Tsung-Ming Wu, Wen-Cheng J. Wei.** J. Europ. Ceramic Soc., **24**, 3235 (2004).
4. **X. Zhang, H. Tu, H. Zhao, M. Yang, X. Wang, Y. Xiong, Zh. Yang, J. Du, W. Wang, D. Chen.** Appl. Phys. Lett., **99**, 132902 (2011).
5. **M. Di, E. Bersch, R.D. Clark, S. Consiglio, G.J. Leusink, A.C. Diebold.** J. Appl. Phys., **108**, 114107 (2010).
6. **Yi Zhao.** Materials, **5**, 1413 (2012).
7. **V. Capodici, F. Wiest, T. Sulima, J. Schulze, I. Eisele.** Microelectronics Reliability, **45**, 937 (2005).
8. **Н.Р. Агамалян, Т.А. Асланян, Э.С. Варданян, Е.А. Кафадарян, Р.К. Овсепян, С.И. Петросян, А.Р. Погосян.** Изв. НАН Армении, Физика, **48**, 193 (2013).
9. **Y. Fan, S. Yu, R. Sun, L. Li, R. Du, Y. Yin.** Appl. Surf. Sci., **255**, 8319 (2009).
10. **Trevor Pi-Chun Juan, Cheng Li Lin, Wen-Chieh Shih, Chin-Chieh Yang, Joseph Ya-Min Lee, Der-Chi Shye, Jong-Hong Lu.** J. Appl. Phys., **105**, 061625 (2009).
11. **E.A. Kafadaryan, S.I. Petrosyan, G.R. Badalyan, S.R. Harutynyan, A.S. Kuzanyan.** Thin Solid Films, **416**, 218 (2002).
12. **D. Tsoutsou, G. Scarel, A. Debernardi, S.C. Capelli, S.N. Volkos, L. Lamagna, S. Schamm, P.E. Coulon, M. Fanciulli.** Microelectronic Engineering, **85**, 2411 (2008).
13. **T.W. Hickmott.** J. Appl. Phys., **33**, 2669 (1962).
14. **N.F. Mott, R.W. Gurney.** Electronic Processes in Ionic Crystals, 2nd ed. Oxford University Press, London, 1948.
15. **M.A. Lampert, P. Mark.** Current Injection in Solids. New York, Academic Press, 1970.
16. **M.A. Lampert.** Phys. Rev., **103**, 1648 (1956).
17. **Y. Kim, Shun-ichiro Ohmi, K. Tsutsui, H. Iwai.** Solid-State Electronics, **49**, 825 (2005).
18. **J.Q. Xu, Y.M. Zhao, Q.Y. Zhang.** J. Appl. Phys., **104**, 124306 (2008).

STUDY OF THE THERMALLY PROCESSED LANTHANUM HEXABORIDE SURFACE

A.S. IGITYAN, Y.A. KAFADARYAN, N.R. AGHAMALYAN, S.I. PETROSYAN,
G.R. BADALYAN, I.A. GAMBARYAN, R.K. HOVSEPYAN, H.S. SEMERJIAN

Opportunity of growing a lanthanum oxide (La_2O_3) on the surface of lanthanum hexaboride (LaB_6) with (100)- and (100/110)- orientation by thermal annealing process to produce a metal-oxide-metal structure has been studied. Electron microscopic images, X-ray and optical spectra revealed La_2O_3 layer of cubic symmetry. The features of the current-voltage and capacitance-voltage characteristics of the $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100)\text{LaB}_6$ and $\text{Al}/\text{La}_2\text{O}_3/(100/110)\text{LaB}_6$ structures were analyzed. The electrical conductance mechanism is explained on the basis of space-charge limited current.