Кузьменко А.П., Чухаева И.В., Абакумов П.В.
Электрические свойства пленок Ленгмюра-Блоджетт стабилизированного
титаната бария

*Юго-Западный государственный университет
(Россиия, Курск)*

doi:10.18411/spc-12-11-2017-02

idsp: 000001:spc-12-11-2017-02

В представленной работе получены пленки Ленгмюра-Блоджетт из стабилизированных олеатом натрия наночастиц титаната бария. Установлено смещение точки Кюри титаната бария в сторону низких температур. Рассчитаны высоко- и низкочастотная диэлектрические проницаемости, постоянная Кюри-Вейса.

Уникальное сочетание свойств тонких сегнетоэлектрических пленок, таких как переключение спонтанной поляризации, высокая диэлектрическая проницаемость и нелинейность, пьезоактивность, ряд электрооптических эффектов определяет их перспективность для создания устройств энергонезависимой памяти, динамической памяти с произвольной выборкой, управляемых электрическим полем конденсаторов; приемников ИК-излучения; приборов на поверхностных акустических волнах; оптических процессоров и т. д. [1-2]. Особенности структуры поверхности, ее качество, электропроводность, стабильность свойств играют важную роль в определении тех или иных качеств исследуемого образца. Свойства тонких пленок могут существенно отличаться от свойств массивного образца. Эти отличия обусловлены спецификой структуры и становятся все более существенными с уменьшением толщины покрытий. В этой связи все более актуальным становится вопрос выяснения механизмов электропроводности тонких пленок.

Пленки Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ) стабилизированного титаната бария (STBTO) с характерным размером 20 нм[3] осаждались на установке KSVNIMA 2002 методом вертикального лифта по ранее определённым методикам [4].

Измерения температурной зависимости пьезомодуля полученных пленок STBTO производились на сканирующем зондовом микроскопе SmartSPMAIST-NT в режимах микроскопии пьезоотклика (МПО) со стандартным проводящим зондом Ti-Pt. Нагрев и термостатирование до 0.1оС образца осуществлялось с помощью опционального термостолика с котроллером температуры PTC10, StanfordResearchSystems.

Измерение частоты фононных мод осуществлялось на сканирующем рамановскоммикроспектрометреOmegaScopeAIST-NT с источником лазерного излучения 532 нм, 50 мВт, для фокусировки которого применялся объектив с числовой апертурой 0.7, обеспечивающий латеральное разрешение ~ 500 нм, дифракционная решетка 1800 линий/мм обеспечила спектральное разрешение 0.8 см⁻¹.

Показатель преломления исследуемой пленки измерялся с помощью двухканального спектрального эллипсометра ES-2LED в диапазоне 270-1000 нм.

В МПО изменение геометрических размеров сегнетоэлектрической пленки STBTO связано с воздействием переменного электрического поля. Деформация пленки по толщине вызывает нормальные колебания кантилевера, распределение амплитуды которых позволяет оценить значение пьезомодуля по формуле:

$$d_{33} = \frac{A}{U},$$

где А – средняя амплитуда нормальных колебаний кантилевера на поляризованной области, U – амплитуда прикладываемого переменного напряжения при измерении пьезоэффекта.

Зависимость пьезомодуля $d_{33}(T)$ для пленок STBTO с толщинами 32, 128 и 352 нм представлена на рис. 2.

Величина пьезомодуля с ростом температуры возрастает, принимая свое максимальное значение при температуре Кюри T_c [5], которая составила для пленок толщиной 32 нм – 347 К, 128 нм – 352 К и 352 нм – 356 К. Дальнейшее увеличение температуры ведет к падению пьезомодуля до 0, что свидетельствует о переходе титаната бария в кубическую структуру и потере сегнетоэлектрических свойств.

Рис. 2. Зависимость пьезомодуля от температуры

Зависимость $T_{\text{сот}}$ толщины пленки согласно [6] описывается соотношением:

$$T = T_c - \frac{10LC}{(2d)^2}, \quad (1)$$

где T_c и T – температуры Кюри для объемного материала и тонкой пленки соответственно, L – корреляционный радиус, C – постоянная Кюри-Вейса, d – толщина пленки.

Как видно из (1) при уменьшении толщины пленки точка Кюри должна смещаться в область низких температур, что подтверждается экспериментальными данными (рис. 1). Величина пьезомодуля d_{33} также увеличивается с ростом температуры и принимает максимальное значение 40 пм/В при толщине 352 нм.

Соотношение Лиддена-Сакса-Теллера:

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_\infty} = \frac{\omega_{LO1}^2}{\omega_{TO1}^2} \cdot \frac{\omega_{LO2}^2}{\omega_{TO2}^2} \cdot \frac{\omega_{LO3}^2}{\omega_{TO3}^2} \quad (2)$$

где ω – частоты соответствующих фононных мод, ε и ε_∞ – низкочастотная и оптическая (высокочастотная) диэлектрические проницаемости соответственно, позволяет определить диэлектрическую проницаемость пленки STBTO.

Частоты фононных мод были измерены по спектру комбинационного рассеяния света (рис. 3) STBTO двухслойной пленки толщиной 32 нм на SERS подложке, усиливающей оптический сигнал в 107 раз.

Рис. 3. Рамановский спектр пленки STBTO на SERS подложке

Полученные значения частот соответствующих фононных мод представлены в таблице 1.

Таблица 1

Волновые числа и частоты фононных мод в STBTO

	LO1	LO2	LO3	TO1	TO2	TO3
$k, \text{см}^{-1}$	212	556	761	201	248	448
$\omega, \text{ТГц}$	40	104	143	38	47	84

Оптическая диэлектрическая проницаемость связана с показателем преломления среды n соотношением $n = \sqrt{\mu\epsilon_\infty}$. Ввиду отсутствия магнитного упорядочения титаната бария высокочастотная диэлектрическая проницаемость связана с показателем преломления соотношением $\epsilon_\infty = n^2$.

В соответствии с зависимостью $n(\lambda)$ (рис. 4), согласно методике [7], усредненное значение n относительно линий серии Бальмера для атома водорода, для исследуемой пленки ST BTO (32 нм) составило 1.96. Отметим, что для объемного титаната бария $n = 2.4$ [7].

Рис. 4. Показатель преломления пленки STBTO

Рассчитанная на основе оптических измерений величина ϵ используя (2) составила 61.5. Учитывая полученные значения T_c и ϵ для двухслойной пленки, согласно закону Кюри-Вейса:

$$\epsilon = \frac{C}{T - T_c}, \quad (3)$$

где T – абсолютная температура в Кельвинах, была рассчитана постоянная Кюри-Вейса равная $C \approx 3.103$ К, что отличается от значения для объемного ВТОС ≈ 105 К. Это указывает о присутствии в пленке как тетрагональной, так и кубической фазы, что подтверждается данными рентгеноструктурного анализа (рис. 5). При комнатной температуре обнаружены рефлексы тетрагональной (сегнетоэлектрической) (C_{4v}^1) фазы, а также метастабильной кубической фазы (O_h^1), наличие которой объясняется особенностями синтеза STBTO [8].

Рис.5. Рентгеновская дифрактограмма пленки ST BTO

Заклучение

Для пленок стабилизированного титаната бария, полученных методом Ленгмюра-Блоджетт, толщиной 32, 128, 352 нм измерены пьезомодуль и температура Кюри, которые составили 40 пм/В и 347 К; 14 пм/В и 352 К; 4.5 пм/В и 356 К соответственно. Для пленки толщиной 32 нм рассчитаны показатель преломления – 1.96, диэлектрическая проницаемость – 61.5, постоянная Кюри-Вейса – $C \approx 3.103$ К.

1. Paniagua S.A., Kim Y., Henry K. Surface-Initiated Polymerization from Barium Titanate Nanoparticles for Hybrid Dielectric Capacitors. Applied materials and interfaces, 2014, Vol. 6, p. 3477 – 3482.
2. Cole M.W., Weiss C.V., Ngo E., Hirsch S., Coryell L.A., Alpay S.P. Microwave dielectric properties of graded barium strontium titanate films. Appl. Phys. Lett., 2008, Vol.92, p. 182906-1 – 182906-3.
3. A.S. Sizov, O. Yacovlev et al. A.P. Kuzmenko Formation of Spherical Nanoparticles BaTiO₃ by Peroxide Method. Journal of Nano- and Electronic Physics, №5, 2013, p. 04024-1 – 04024-2
4. Kuzmenko A.P., Chuhaeva I.V., Abakumov P.V. et al. An Analysis of the Deposition Process and the Structure of Ferroelectric Langmuir Films of Barium Titanate. Journal of Nano- and Electronic Physics, 2015, Vol. 7, No 4, p. 04025-1 □ 04025-4.
5. Liang D., Stone D. S., Lakes R. S. Enhanced dielectric and piezoelectric properties of xBaZrO₃-(12x)BaTiO₃ ceramics. Journal of Applied Physics, 2012, Vol. 111, p. 084107-1 – 084107-10.
6. Зубко С.П. Модель размерного эффекта в тонкой сегнетоэлектрической пленке в условиях фазового перехода. ФТТ, 2010, Т. 52, Вып. 12, с. 2401 – 2404.
7. L. M. Eng, T. Otto H. Chaib Dielectric polarization and refractive indices of ultrathin barium titanate films on strontium titanate single crystals // Journal of Physics: Condensed Matter. — №17. — 2005. — с. 161 – 179.
8. N.A. Emelianov Structure and dielectric properties of composite material based on surface-modified BaTiO₃ nanoparticles in polystyrene. European Physical Journal Applied Physics, 2015, 69, p. 10401 – 10406.

Савинов К.Н.

Особенности режимов генерации полупроводникового лазера с внешним резонатором при свч модуляции

*Новосибирский государственный технический университет
(Россия, Новосибирск)*

doi:10.18411/spc-12-11-2017-03

idsp: 000001:spc-12-11-2017-03

Аннотация

При модуляции тока накачки полупроводникового лазера ($\lambda=795$ нм) наблюдалась осциллирующая зависимость амплитуд боковых составляющих от СВЧ частоты и найдена связь этих осцилляций со структурой поля в резонаторе лазера.

Ключевые слова: рубидиевый стандарт частоты, полупроводниковый лазер, накачка стандарта частоты, частотная модуляция.

Abstract

When the pumping current of a semiconductor laser ($\lambda = 795$ nm) was modulated, the oscillating dependence of the side components amplitudes due to the microwave frequency was observed, and the coupling of this dependence with the field structure in the laser cavity was found.

Введение

Разработка квантовых стандартов частоты (КСЧ) радиодиапазона является одним из важнейших направлений в измерительной технике, так как они нашли широкое применение во многих областях (навигация, прецизионные измерения и т.д.). Среди КСЧ радиодиапазона наиболее массовыми являются рубидиевые стандарты частоты (РСЧ). В настоящее время существует потребность в повышении