

Краткие сообщения

04;05;07;12

Показатель преломления и постоянная решетки пленок оксида цинка, модифицированных в низкотемпературной плазме

© А.А. Сердобинцев, Е.И. Бурылин, А.Г. Веселов, О.А. Кирясова, А.С. Джумалиев

Институт радиотехники и электроники РАН, Саратовский филиал,
410019 Саратов, Россия
e-mail: SerdobintsevAA@info.sgu.ru

(Поступило в Редакцию 17 апреля 2007 г.)

Исследованы кристаллографические и оптические свойства пленок ZnO, полученных в области рекомбинационного горения низкотемпературной плазмы. Определен показатель преломления и установлена его корреляция с постоянной решетки по оси c . Получена планарная гомогенная структура из двух пленок ZnO с разными показателями преломления, на примере которой показаны возможные области практического использования.

PACS: 68.55.-a, 78.66.-w

Развитие компонентной базы для функциональной электроники обуславливает актуальность разработки методов синтеза новых материалов и модификации свойств известных. Согласно литературным данным [1], получение материалов с измененными структурными свойствами теоретически возможно при плазменном распылении, когда используются такие активирующие факторы, как бомбардировка, энергии рекомбинации, приповерхностный потенциал. В работе [2] данная возможность была реализована в условиях экстремальных давлений и температур. В то же время в работе [3] авторы показали, что модификация структурных свойств материалов может иметь место в плазме тлеющего разряда при помещении подложки в зону, удаленную от мишени на расстояние порядка длины свободного пробега выбитых атомов. Пленки модифицированного оксида цинка, полученные на холодной подложке в области рекомбинационного горения низкотемпературной плазмы, имеют различную постоянную решетки в зависимости от давления в распылительной камере, т.е. от длины свободного пробега частиц в плазме [4]. В статье [3] упоминалась возможность варьирования показателя преломления таких пленок при помощи того же параметра процесса (давления), однако ничего не говорилось о характере зависимости „показатель преломления—длина свободного пробега“.

Цель настоящей работы — более детальное изучение оптических характеристик тонких пленок модифицированного оксида цинка и установление корреляции между показателем преломления и постоянной решетки в этих пленках.

Модифицированные пленки оксида цинка синтезировались в области рекомбинационного горения низкотемпературной аргоно-кислородной плазмы в квазизамкнутом объеме распылительной магнетронной системы [3]. Давление в камере поддерживалось с точностью

10^{-5} Торр, температура подложки не превышала 100°C . В качестве подложки использовалось предметное стекло толщиной 1 мм и показателем преломления 1.57. В отличие от классических условий синтеза подложка располагалась на расстоянии от мишени, сравнимом с длиной свободного пробега выбитых атомов (15–18 мм). Столь высокие значения длины свободного пробега были достигнуты в результате применения самарий-кобальтовых магнитов и критически низкого давления при работе магнетрона (порог зажигания тлеющего разряда).

При визуальном осмотре пленки модифицированного оксида цинка прозрачны, а в отраженном свете имеют четко выраженную цветовую окраску. С учетом того факта, что толщина пленок находится в пределах 120–150 нм, было сделано предположение о наличии в этих пленках высокодобротного оптического резонанса в видимой области спектра в результате интерференции света, отраженного от границ раздела „воздух—ZnO“ и „ZnO—стекло“. Проверка данного предположения проводилась экспериментально при регистрации спектров отражения исследуемых пленок.

Спектры отражения регистрировались с помощью дифракционного спектрофотометра МДР-23 в диапазоне от 350 до 650 нм. В интерференционных измерениях от одиночной пленки наблюдался ярковыраженный резонанс с шириной порядка 100–150 нм (рис. 1). Наличие такого резонанса позволяет определить показатель преломления исследуемых пленок.

Для определения показателя преломления по спектрам отражения были использованы известные из оптики тонких пленок формулы [5]. Показатель преломления для пленок, полученных при различных давлениях, находился в пределах 2.35–2.61. Так как показатель преломления „обычного“ оксида цинка равен 2.0 [6], то суммарное изменение показателя преломления составило 25–30%. Дополнительные исследования на рентгеновском дифрактометре „Дрон-4“ выявили хорошую

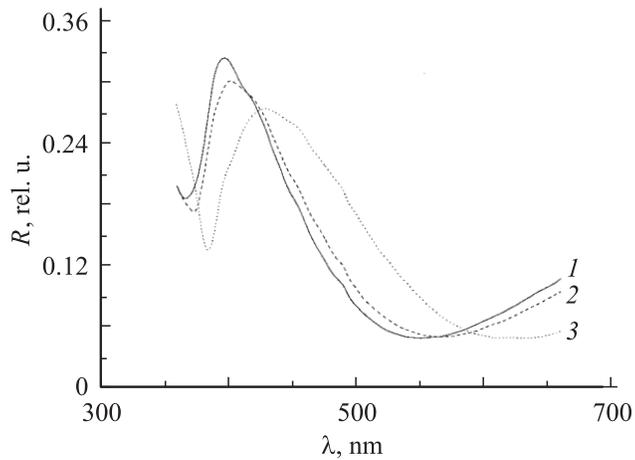


Рис. 1. Спектры отражения пленок ZnO, полученных при различных давлениях в камере: 1 — $1.6 \cdot 10^{-4}$, 2 — $1.5 \cdot 10^{-4}$, 3 — $1.4 \cdot 10^{-4}$ Торр.

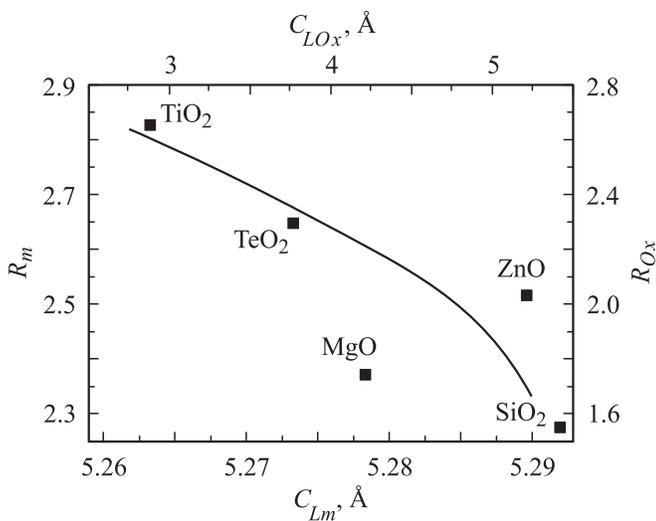


Рис. 2. Зависимость показателя преломления от периода решетки для пленок модифицированного ZnO (кривая); значения показателя преломления и периода решетки по кристаллографической оси c для некоторых используемых в оптике оксидов (точки) [6].

корреляцию между показателем преломления (R_m) и постоянной решетки (C_{Lm}) вдоль кристаллографической оси c в пленках модифицированного ZnO (рис. 2, кривая). Особый интерес представляет сравнение полученной для модифицированного ZnO зависимости показателя преломления (R_{Ox}) от постоянной решетки (C_{Ox}) с аналогичной зависимостью для ряда используемых в оптике оксидов (рис. 2, точки) [6]. Очевидно, что с увеличением постоянной решетки по кристаллографической оси c показатель преломления для приведенного ряда оксидов обнаруживает ту же тенденцию к уменьшению, что и для модифицированного ZnO. Обнаруженная корреляция по зависимости „постоянная решетки—показатель преломления“ между различными

оксидами и пленками модифицированного оксида цинка, полученными при различных длинах свободного пробега в распылительной камере, подтверждает достоверность определяющего влияния условий плазменного синтеза на свойства пленки. Особо отметим, что диапазон изменения показателя преломления для модифицированного ZnO всего в два раза меньше, чем аналогичный параметр для оксидов из ряда TiO_2 , TeO_2 , MgO , ZnO , SiO_2 .

Изменение постоянной решетки при плазменном синтезе пленок может быть следствием бомбардировки растущей пленки ускоренными ионами и нейтральными частицами. В работах [7,8] показано, что такая бомбардировка может приводить к формированию различных аллотропных фаз одного и того же материала в зависимости от энергии ионов. Фактор бомбардировки в нашем случае представляется определяющим ввиду расположения подложки, как отмечалось выше, в прикатодном пространстве на расстоянии, сравнимом с длиной свободного пробега при критических давлениях, соответствующих порогу зажигания тлеющего разряда. В этих условиях энергия выбитых из мишени атомов может превысить 1 keV.

Дальнейшие эксперименты были направлены на обнаружение отражающей границы между двумя слоями модифицированного оксида цинка, синтезированных при различных длинах свободного пробега. Одинаковый состав слоев, возможно, минимизирует несовершенства межслойных границ между слоями, что позволяет надеяться на увеличение тепловой прочности и радиационной стойкости интерференционных оптических структур на их основе.

Для подтверждения возможности создания многослойных гомогенных зеркал был проведен следующий эксперимент. На стекло по методике [3] была нанесена пленка модифицированного оксида цинка, затем для этой пленки была измерена спектральная характеристика коэффициента отражения. Далее на эту пленку при измененном давлении был нанесен второй слой оксида цинка с другим показателем преломления. Спектр отражения полученной структуры также был зарегистри-

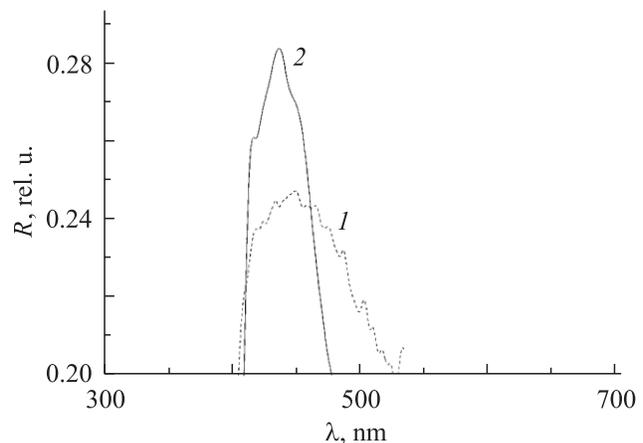


Рис. 3. Спектры отражения одно- (1) и двуслойной (2) пленок модифицированного ZnO.

рован (рис. 3). Как видно из рисунка, ширина пика оптического резонанса в области 440 nm на уровне 0.7 от максимума уменьшилась практически в два раза — со 110 nm для однослойной структуры до 60 nm — для двухслойной. Уменьшение ширины резонанса и повышение его интенсивности говорит об эффективном отражении падающего света от границы между слоями модифицированного оксида цинка. Таким образом, впервые установлена возможность создания гомогенной структуры с эффективно отражающими межслойными границами. Представленные результаты открывают новые перспективы в создании 1-D фотонных кристаллов.

Таким образом, синтез в области рекомбинационного горения позволяет получить материалы с принципиально новыми свойствами, не меняя их состава. Данная методика дает возможность, в частности, создания на основе таких материалов многослойных структур для гомогенных интерференционных зеркал. Использование одного и того же материала для последовательного нанесения слоев с различным показателем преломления позволяет избежать межслойной текстуры зарождения и добиться более высокой отражательной способности.

Список литературы

- [1] Полак Л.С., Овсянников А.А., Словецкий Д.И., Вурзель Ф.Б. Теоретическая и прикладная плазмохимия. М.: Наука, 1975. 304 с.
- [2] Фортон В.Е., Храпак А.Г., Якубов И.Т. Физика неидеальной плазмы. М.: Физматлит, 2004. 528 с.
- [3] Бурьлин Е.И., Веселов А.Г., Джумалиев А.С. и др. // ЖТФ. 2007. Т. 77. Вып. 5. С. 130–132.
- [4] Бурьлин Е.И., Веселов А.Г., Веселов А.А. и др. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. Вып. 7. С. 31–34.
- [5] Розенберг Г.В. Оптика тонкослойных покрытий. М.: Физматгиз, 1958. 572 с.
- [6] Блистанов А.А., Бондаренко В.С., Чкалова В.В. и др. Акустические кристаллы / Под ред. М.П. Шаскольской. М.: Наука, 1982. 632 с.
- [7] Файзрахманов И.А., Хайбуллин И.Б. // Поверхность. 1996. Т. 5. С. 88.
- [8] Файзрахманов И.А., Базаров В.В., Степанов А.Л., Хайбуллин И.Б. // ФТП. 2006. Т. 40. Вып. 4. С. 419–425.