

03:04:05

## **Исследование зависимости пьезоактивности пленок оксида цинка от условий синтеза в критических режимах тлеющего разряда**

© В.А. Александров, А.Г. Веселов, О.А. Кирясова,  
А.А. Сердобинцев

Саратовский филиал Института радиотехники и электроники  
им. В.А. Котельникова РАН  
E-mail: AlexandrovVA@gmail.com

*В окончательной редакции 4 июня 2012 г.*

Представлены результаты исследования влияния давления газов в магнетронной распылительной системе (МРС) при синтезе пленок ZnO на эффективность возбуждения объемного гиперзвука. Эксперименты проведены при давлениях, близких к переходу тлеющего разряда в МРС в таунденсовский, где длина свободного пробега ионов и электронов возрастает и появляется дрейфовая компонента в потоке осаждаемых частиц. Показано, что в этих условиях возрастает эффективность возбуждения гиперзвука (частота > 1 GHz), что авторы связывают с уменьшением текстуры зарождения и возрастанием плотности пленки. Выводы сделаны на основании сравнения со свойствами пленок, полученных в классическом диффузном тлеющем разряде.

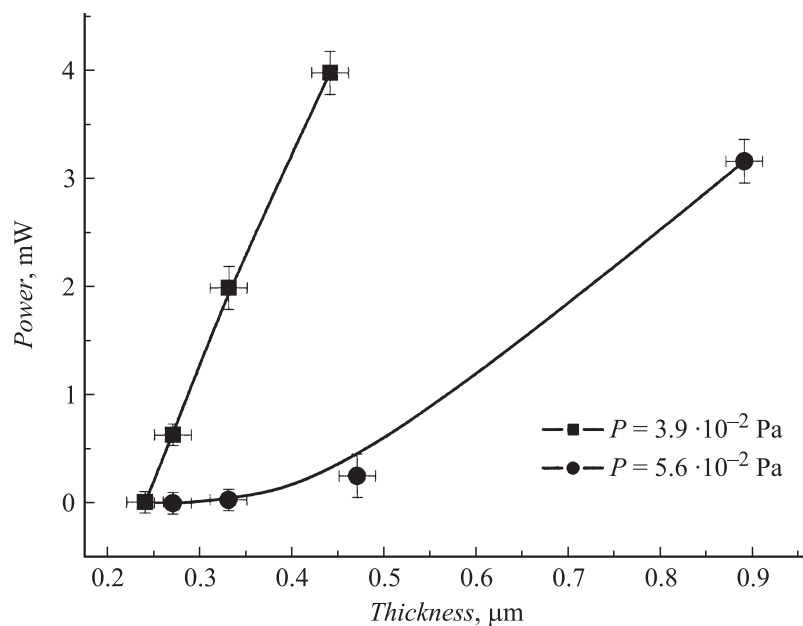
Устройства на объемных акустических волнах получили широкое распространение в электронных системах, аэрокосмической и цифровой технике. Причем, чем выше рабочая частота, тем более востребованы такие устройства. Это налагает дополнительные требования к совершенству используемых для возбуждения звука акустоэлектрических преобразователей. Одним из наиболее распространенных методов их создания является магнетронное распыление. В настоящей статье на примере оксида цинка показывается, что акустические свойства пленок можно значительно улучшить при их синтезе в критических режимах тлеющего магнетронного разряда. Постановка настоящей работы во многом обусловлена результатами по модификации материалов в потоковой низкотемпературной плазме, полученными авторами ранее [1,2].

Изучение влияния найденных условий синтеза на пьезоактивный материал и составило основное содержание настоящей работы.

Как и в предыдущих работах, эксперименты проводились в классической плазмохимической магнетронной распылительной системе (МРС) с несбалансированной магнитной системой [3]. Неоднородность магнитных полей приводит к пространственному распределению плотности рекомбинирующей плазмы, и как следствие появлению потоков, направленных к подложке. В качестве рабочего газа использовалась смесь Ar и O в пропорции 3:2. Мишень была выполнена из чистого Zn. Пленка оксида цинка выращивалась на алюминиевом подслое, термически осажденном на кристалл алюмоиттриевого граната. Толщина подслоя составляла 30–60 nm, а температура подложки в момент напыления равна 250°C. При напылении ZnO температура подложки поддерживалась на уровне 400°C. Кристалл располагался на расстоянии 24 mm от мишени, что соответствует середине факельной зоны. В ходе исследований было замечено, что изменения пьезоактивности пленки наблюдаются только при расположении подложки в определенной области рекомбинирующей плазмы. Предварительный эксперимент с простейшей механической рычажной системой показал наличие потоков частиц с интенсивностью, зависящей от области плазмы, в которую помещался чувствительный зонд. Результаты предварительного эксперимента позволили сделать вывод о соответствии изменения пьезоактивности определенной интенсивности потоков в плазме магнетронного разряда.

В ходе работы были получены две серии пленок, различающиеся между собой рабочим давлением в камере. Следует отметить, что в используемой МРС предельное давление, при котором возможно горение тлеющего разряда, составляет  $3.6 \cdot 10^{-2}$  Pa. Давление первой серии было выбрано вблизи этой границы зажигания тлеющего разряда и составило  $3.9 \cdot 10^{-2}$  Pa. Для второй серии давление составило  $5.6 \cdot 10^{-2}$  Pa, что значительно отстоит от давления зажигания устойчивого тлеющего разряда в нашей системе и соответствует классическом диффузному движению частиц в районе подложки. Температура подложки (400°C) и ток распылительной системы (100 mA) поддерживались на постоянном уровне. Времена напыления составили 20, 30, 40, 60 и 100 min.

Полученные образцы исследовались на пьезоактивность с помощью измерительного стенда, собранного на базе СВЧ генератора, генератора импульсов, согласующей системы, СВЧ усилителя и осциллогра-



Зависимость мощности первого эхо-сигнала от толщины пленки, зависимости приведены для двух давлений.

фа. Измерения производились на частоте зондирующего СВЧ сигнала 800 MHz при мощности в 1 W и времени импульса в  $1 \mu\text{s}$ . Пьезоактивность оценивалась по величине амплитуды первого эхо-сигнала. Толщина напыленных пленок контролировалась микроинтерферометром МИИ-4.

В первой серии экспериментов пьезоактивность появлялась начиная с толщины пленки  $0.24 \mu\text{m}$  (30 min напыления), во второй — с  $0.33 \mu\text{m}$  (40 min напыления). Зависимость толщины пленки от времени напыления линейная, однако скорости напыления различаются. Полученная с каждого образца мощность первого эхо-сигнала в зависимости от толщины пленки показана на рисунке.

Представленные на рисунке результаты свидетельствуют о значительных отличиях в свойствах пьезопреобразователей, выращенных при разных давлениях. Преобразователи, выращенные на границе двух

разрядов обладают пьезоактивностью начиная с толщин  $0.24 \mu\text{m}$  (30 min напыления). В то же время увеличение давления (переход в зону обычного тлеющего разряда) приводит к резкому росту минимальной толщины пленки, при которой наблюдалась пьезоактивность.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод об увеличенной толщине неупорядоченной текстуры зарождения пленки, синтезированной при большем давлении. Под текстурой зарождения здесь подразумевается переходный слой оксида цинка, богатый дефектами, пустотами и неориентированными кристаллитами оксида цинка. Более того, в первом режиме с увеличением толщины наблюдается практически линейный рост мощности эхо-сигнала, в то время как полученные во втором режиме пленки обнаруживают нелинейную зависимость этих величин.

Обнаруженные особенности пленок ZnO можно объяснить следующим образом. Как отмечалось в [2], синтез пленок ZnO в критических режимах разряда позволяет управлять такой структурной характеристикой пленок, как межплоскостное расстояние. Следовательно, серия пленок, синтезированная на границе двух разрядов, обладает более плотной и упорядоченной структурой. Пленки, полученные при большем давлении, т.е. в диффузном режиме тлеющего разряда, более рыхлые, что приводит к отклонениям от линейности на зависимости мощность эхо-импульса–толщина.

Проведенные эксперименты показали, что синтез пленок в критическом режиме приводит к существенному увеличению пьезоактивности, а многократно проведенные эксперименты показали, что в этом случае можно достичь воспроизводимости результатов с точностью 2%.

## Список литературы

- [1] Александров В.А., Веселов А.Г., Кирясова О.А., Сердобинцев А.А. // ЖТФ. 2009. Т. 79. В. 8. С. 142–145.
- [2] Сердобинцев А.А., Бурыгин Е.И., Веселов А.Г., Кирясова О.А., Джумалиев А.С. // ЖТФ. 2008. Т. 78. В. 3. С. 83–85.
- [3] Веселов А.Г., Джумалиев А.С. // ЖТФ. 2000. Т. 70. В. 4. С. 118–120.