

05;08

## **Влияние характера текстуры пленок оксида цинка на излучение объемного звука**

© А.А. Веселов, А.Г. Веселов

Саратовское отделение Института радиотехники и электроники РАН

Поступило в Редакцию 3 декабря 2001 г.

На примере реальных и модельных распределений рассмотрено влияние дефектов пьезопреобразователей из оксида цинка на боковое объемное излучение гиперзвука в том случае, когда длина волны излучения соизмерима с размером зерна, а апертура отдельного излучателя составляет несколько длин волн. С этой целью изучено распределение пьезоактивности в пленках оксида цинка на протяженных подложках. Исследованы некоторые механизмы возникновения дефектов и способы влияния на них при синтезе пленок в газоразрядной плазме. Рассчитаны диаграммы направленности преобразователей с учетом как реальных, так и модельных распределений дефектов.

В большинстве работ, посвященных синтезу и применению поликристаллических пленок оксида цинка в акустике сверхвысоких частот, наличие дефектов подразумевается, но апертура преобразователей столь велика, что их учет представляется нецелесообразным. Иначе обстоит дело в преобразователях с малой апертурой (порядка 10 длин волн) и решетках из них, применяемых в устройствах, использующих боковые лепестки диаграммы направленности излучателей.

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование распределения пьезоактивности в пленках оксида цинка микронными методами. На основе как реальных, так и модельных распределений определялась интенсивность излучения в некотором угловом диапазоне преобразователей с апертурой в несколько длин волн.

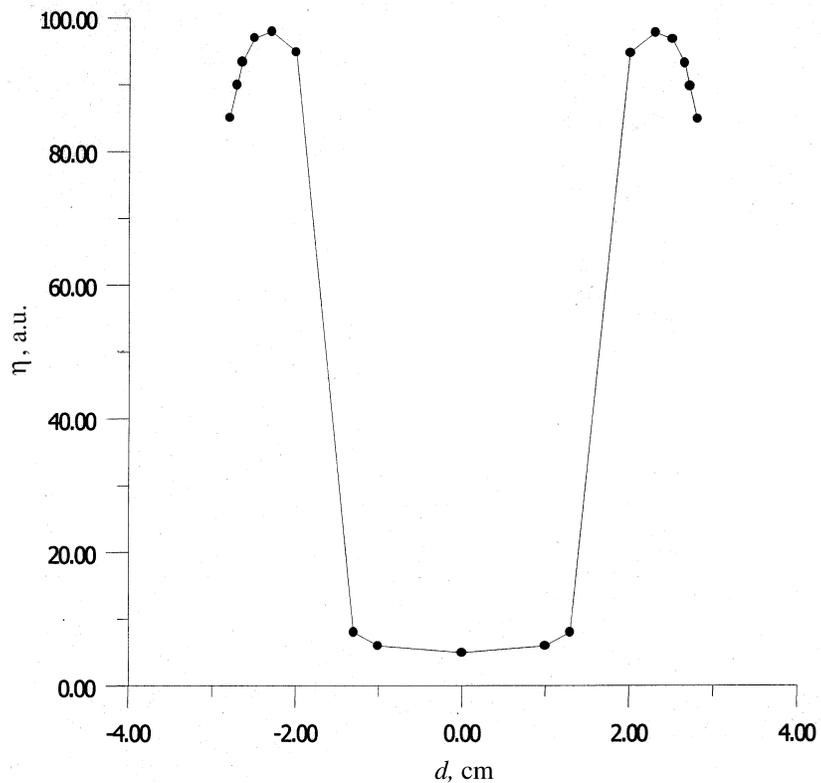
Синтез пленок оксида цинка, используемых в экспериментах, проводился в газоразрядной плазме в системе ионно-плазменного магнетронного распыления [1]. Для изучения характера распределения пьезоактивности были созданы две экспериментальные установки, использующие в качестве датчика зонд — иглу с диаметром торца

порядка  $10\ \mu\text{m}$ . Иглы изготавливались электрохимическим травлением вольфрамовой проволоки в щелочи с последующей шлифовкой плоскости торца в соответствующих оправках. В первой установке регистрировался электрический потенциал между иглой и подслоем при ударе зонда о пленку. Сила механического удара стабилизировалась с большой точностью механической пружинной конструкцией. Во втором случае зонд являлся центром коаксиального низкоомного кабеля (общий диаметр порядка  $100\ \mu\text{m}$ ), к которому подводился импульс радиосигнала с частотой  $9.5\ \text{GHz}$ . Поскольку пленка была напылена на кристалл алюмоиттриевого гранта с плоскопараллельными гранями, мерой пьезоактивности здесь служила амплитуда первого эхо-сигнала.

На рис. 1 представлено распределение пьезоактивности в относительных единицах, полученное как тем, так и другим методом. Измерительный зонд продвигался по диаметру подложки вплоть до зоны „смутности“, где оптическая ось каждого зерна имеет совершенно произвольное направление. Конфигурация магнитных полей и расстояние от подложки до мишени было выбрано таким образом, что круговая зона смутности имела диаметр порядка  $40\ \text{mm}$  при ширине  $5\text{--}7\ \text{mm}$ . Как видно из представленного графика, в данной конструкции магнетронной камеры в круге диаметром порядка  $20\ \text{mm}$  разброс значений снимаемого зондом сигнала не превышает  $10\%$ , в то время как в зоне смутности он достигает  $100\%$ .

Представляло интерес оценить диаграмму направленности малоапертурных излучателей при различных размерах зерен и степени их пьезоактивности. При этом использовались как экспериментально полученные данные (рис. 1), так и модельные численные распределения пьезоактивности. Актуальность такой задачи обусловлена необходимостью использования бокового излучения объемных акустических волн как одиночных пьезопреобразователей, так и решеток на их основе.

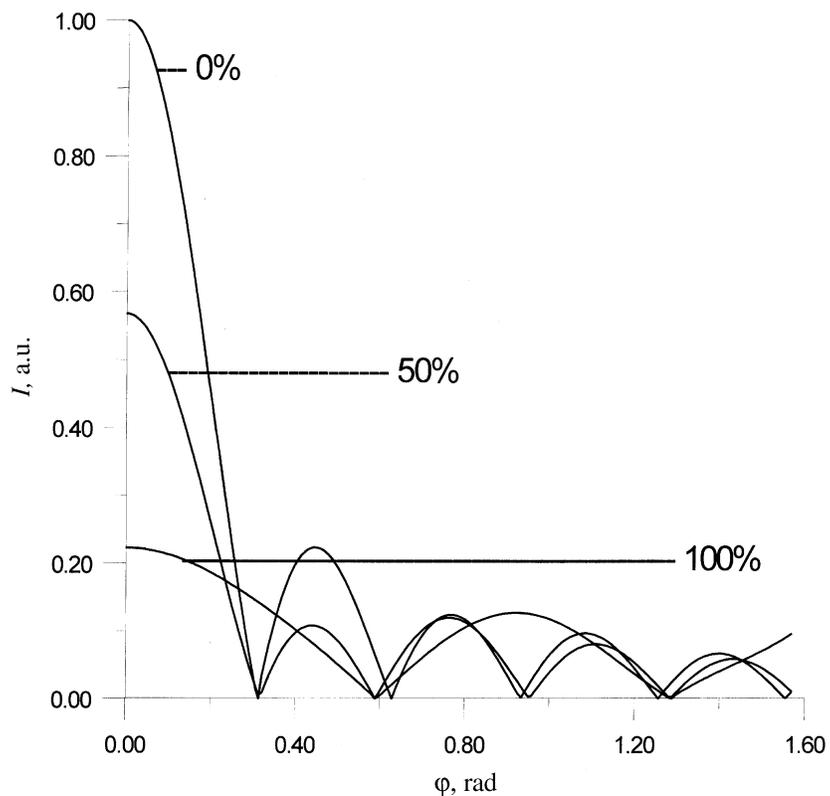
Для расчета диаграмм направленности был выбран апертурный метод. Широко применяемый в теории антенн, он может быть использован в акустике сверхвысоких частот, где также с большой точностью выполняются приближения, необходимые для этого метода: источники излучения расположены в одной плоскости — поверхность пьезопленки или поверхность пьезокристалла и расстояние до приемника излучения много больше размеров излучателя в длинах волн (апертуры). Эти условия соответствуют зоне Френеля, где диаграмма направленности представляется интегралом Фурье от распределения поля в апертуре излучателя.



**Рис. 1.** Типичный характер распределения пьезоактивности ( $\eta$ ). В центре — 5%-ный разброс в соседних точках. В зоне смутности — до 100% ( $d$  — расстояние от центра мишени).

В нашем случае рассматривались излучатели с апертурой порядка 10 длин волн при длине волны порядка  $1 \mu\text{m}$ . Вышеперечисленные условия, естественно, выполнялись, поскольку в реальных задачах используются звуководы длиной не менее нескольких миллиметров.

На рис. 2 представлены результаты расчетов, которые показывают, что излучение в основном лепестке, как и следовало ожидать, весьма критично к степени дефектности пленок, и таким образом поликристал-



**Рис. 2.** Диаграммы направленности пьезопреобразователей с разной степенью разориентации текстуры (0, 50, 100%) в соседних зернах. Апертура 10 длин волн. Размер зерна соизмерим с длиной волны ( $\varphi$  — угол, отсчитываемый от нормали к поверхности).

лическую структуру пленок необходимо учитывать в экспериментах, где используется излучение гиперзвука на частотах выше 10 GHz под некоторым углом к поверхности (акустооптика, линии задержки с наносекундными временами).

Заметим, что преобразователь, составленный из зерен со 100%-ным разбросом значения пьезоактивности (зона „смутности“), частично

излучает в поверхность кристалла (рис. 2). В наших расчетах это произошло по той причине, что размер зерна и длину волны мы взяли соизмеримыми.

Обращаясь к экспериментальной работе [1], остановимся на некоторых механизмах возникновения дефектов в поликристаллических пленках. Так, в упомянутой работе показаны причины, от которых зависит стехиометричность пленок. В аналогичной экспериментальной установке мы провели серию экспериментов по изучению условий, влияющих на размер зерна и направление оптической оси в зерне. Хорошо известно, что и тот и другой параметр пленки подвержен сильному влиянию практически всех условий в газоразрядной плазме: температуры подложки, мощности разряда, распределения магнитных полей. Использование квазизамкнутого объема позволило нам стабилизировать режим синтеза и изучить влияние, как нам представлялось, только одного фактора — разориентации оси текстуры кристаллитов. Продолжая эксперименты, начатые в работе [2], было установлено, что в центре круговой зоны, ограниченной зоной „смутности“ (где степень разориентации максимальна), оптические оси отдельных кристаллитов отклонены друг от друга на несколько градусов при температуре подложки во время роста не менее 300°С. Снижение температуры приводит к сильной разориентации оптических осей кристаллитов, делая пленки практически непригодными. Заметим, что данные выводы сделаны из экспериментов по росту пленок на подслое из алюминия, полученный в той же камере. Последнее обстоятельство (использование неокисленного алюминия в качестве подслоя) является решающим для стабильности результатов экспериментов и технологии в целом.

Результаты настоящей работы могут быть полезны в экспериментах, где используются боковые лепестки в диаграммах направленности одиночных или решетчатых преобразователей, в которых излучателем служат текстурированные пленки оксида цинка.

Работа поддержана грантом РФФИ № 01–02–16317.

## Список литературы

- [1] Бурылин Е.И., Веселов А.А. и др. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 7. С. 31–34.
- [2] Веселов А.Г., Джумалиев А.С. // ЖТФ. 2000. Т. 70. В. 4. С. 209–213.