

условий $\sigma_0^2 = 2^{-2(m+1)}/12$. Отметим, что с ростом номера итерации дисперсия результата возрастает крайне незначительно. При $M \geq 3$ ее можно оценить

$$\sigma_{\text{оп}}^2 \approx 2,5 \cdot 2^{-2(n+1)}/12. \quad (2a)$$

Оценим влияние на погрешность результата конечной разрядности сумматоров ($l \neq \infty$). При округлении результата вычислений до m разрядов на всех итерациях, где имеется сдвиг операнда за пределы разрядной сетки сумматора, в результат суммирования вносится независимая случайная погрешность Δi : при сдвиге на один разряд и округлении $\bar{\Delta}_1 = 0$, $\sigma_1^2 = 2^{-2m}/4$; при сдвиге на два разряда и округлении $\bar{\Delta}_2 = 0$, $\sigma_2^2 = 2^{-2m}/8$; при сдвиге на три и более разрядов и округлении погрешность оценивается известной формулой $\sigma_3^2 = 2^{-2m}/12$. При M итерациях дисперсия погрешности округления определяется выражением

$$\sigma_{\text{окр}}^2 = 2^{-2m} (3 + 1,5 + M_1)/12, \quad (3)$$

где M_1 — число итераций, на которых разрядность одного из операндов превышает разрядность сумматора на три и более разрядов,

$$M_1 = M - 1 - l - 2 = M - l - 3 \text{ и } \sigma_{\text{окр}}^2 = 2^{-2m} (M - l + 1,5)/12. \quad (3a)$$

Дисперсия суммарной погрешности результатов вычисления по выражению (1) определяется суммой (2a) и (3a)

$$\sigma^2 = 2^{-2m} (2,5 \cdot 2^{2l} + M - l + 1,5)/12. \quad (4)$$

В частности, при $m = n + 1$ $\sigma^2 = 2^{-2n} (M + 4)/12$.

Полученные зависимости связывают требуемую точность выполнения операции поворота вектора с разрядностями операндов и сумматоров АУ процессора CORDIC.

1. Применение цифровой обработки сигналов / Под ред. Э. Опленгейма. М., Мир, 1980. 550 с.

Поступила в редколлегию 14.07.81

УДК 621.374

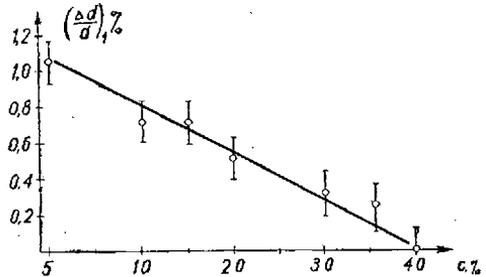
*Г. И. КАЛЬНАЯ, С. В. ОГУРЦОВ, кандидаты физ.-мат. наук,
Н. Г. КИРИЛЕНКО, студ.*

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК ОКСИ ЦИНКА ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН

Статья посвящена совершенствованию технологии получения текстурированных пленок окиси цинка, используемых в устройствах на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Рентгено-

структурные и оптические исследования качества пленок проводились на дифрактометре ДРОН-2.0 и спектрофотометрах FIS-3 и UR-20.

Описанная в работах [1, 3] технология нанесения тонких (до 4 мкм) пленок ZnO методом реактивного триодного распыления на постоянном токе позволила получить хорошо ориентированные (средний угол разориентировки С-оси относительно нормали к поверхности подложки не превышал $\pm 5^\circ$) мелкокристаллические (размер блоков когерентного рассеяния 20—30 нм) пленки на подложках из плавленого кварца. Однако они были низкоомными и характеризовались остаточными упругими микро- и макронапряжениями, причиной которых являлись ростовые структурные дефекты, обусловленные избытком в пленках кислородных вакансий [1].



При определении ориентированных напряжений в пленке измеряемой величиной являлась относительная деформация $(\Delta d/d)_1$, вычисляемая по изменению периода кристаллической решетки d в направлении, перпендикулярном плоскости пленки [2]. Вычисления показали, что $(\Delta d/d)_1 > 0$, и, следовательно, в плоскости пленки действуют сжимающие напряжения. Изучено влияние механических напряжений в пленке на спектры внешнего и нарушенного полного внутреннего отражения пленки и подложки. Обнаружено изменение в интенсивности и сдвиг по частоте полос колебаний в области остаточных лучей в пленках ZnO, в подложке из плавленого кварца и появление пика $\nu \approx 1250 \text{ см}^{-1}$ на месте высокочастотного плеча отражения плавленого кварца ($\nu \approx 1130 \text{ см}^{-1}$). Появление этого максимума можно связать с деформацией тетраэдров SiO_4 в поверхностном слое кварцевой подложки под воздействием пьезоэлектрического поля, созданного деформированной (сжатой) пленкой ZnO.

Комбинацией методов распыления и термообработки (получасовой отжиг в кислороде воздуха при $T = 723 \text{ K}$) были получены пленки ZnO стехиометрического состава без механических напряжений с удельным сопротивлением $10^6 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Однако при увеличении толщины пленки для ее обогащения кислородом требуется более длительный отжиг, что будет сопровождаться диффузией металла преобразоваться в пленку. Поэтому важно получать пленки ZnO стехиометрического состава в процессе их осаждения.

Изменение условий напыления (увеличение концентрации кислорода в распылительной смеси до 40 %, при давлении 0,13 Па и уменьшении расстояния мишень — подложка в стандартной уста-

новке до 0,06 м) позволило получить свеженапыленные пленки стехиометрического состава без напряжений. На рисунке приведена зависимость напряжений первого рода $(\Delta d/d)_1$ от концентрации кислорода s при прочих равных условиях (температура кварцевой подложки $T=553$ К, скорость напыления $v_H=0,56$ нм/с, толщина пленки $h=2$ мкм).

Оптические исследования отожженных пленок указывают на сохранение в кварцевой подложке некоторой доли ориентационного взаимодействия тетраэдрических групп SiO_4 , чего не наблюдается в случае пленок, осажденных без механических напряжений. Возможность таких остаточных явлений в плавленом кварце следует учитывать в технологии слоистых систем окись цинка — кварцевая подложка.

1. Гранкин И. М., Қалыная Г. И., Погребняк В. П., Лопушенко В. К. Тонкая кристаллическая структура пленок окиси цинка, полученных нонно-плазменным распылением на постоянном токе.— Укр. физ. журн., 1981, т. 26, № 6, с. 1040—1042. 2. Уманский Я. С. Рентгенография металлов и полупроводников. М., Металлургия, 1969. 496 с. 3. Хикернелл Ф. Преобразователи поверхностных волн на тонких пленках окиси цинка.— ТИИЭР, 1976, т. 64, № 5, с. 70—76.

Поступила в редколлегию 17.06.81

УДК 621.372.852.2

А. М. ҚУПРИЙ, И. Б. ЛАЙХТМАН, кандидаты техн. наук

ПОГРЕШНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ ПРОВОДИМОСТИ НЕОДНОРОДНОСТИ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Значение нормированной проводимости $B_{\sim} = (jB)/\gamma_0$ при параллельном включении ее в линию передачи с волновой проводимостью γ_0 может быть определено по измеренным значениям коэффициентов матрицы рассеяния четырехполюсника по формулам [1]

$$B_{\sim} = \frac{2|S_{11}|}{\sqrt{1-|S_{11}|^2}} = \frac{\text{КСВ}-1}{\sqrt{\text{КСВ}}}; \quad B_{\sim} = \frac{2\sqrt{1-|S_{12}|^2}}{|S_{12}|}. \quad (1)$$

Относительные погрешности $(\Delta B_{\sim}/B_{\sim})$ определения B_{\sim} за счет погрешностей при измерении КСВ и модуля коэффициента передачи $|S_{12}|$ могут быть представлены в виде

$$\left(\frac{\Delta B_{\sim}}{B_{\sim}}\right)_{\text{КСВ}} = \frac{1}{2} \frac{\text{КСВ}-1}{\text{КСВ}+1} \frac{\Delta \text{КСВ}}{\text{КСВ}}; \quad (2)$$

$$\left(\frac{\Delta B_{\sim}}{B_{\sim}}\right)_{S_{12}} = -\frac{1}{1-|S_{12}|^2} \cdot \frac{\Delta |S_{12}|}{|S_{12}|}. \quad (3)$$

Из сравнения выражений (2) и (3) с учетом $(\text{КСВ}+1)/(\text{КСВ}-1) = 1/(\sqrt{1-|S_{12}|^2})$ видно, что погрешность определения B_{\sim} по измеренному значению КСВ меньше, чем по $|S_{12}|$.

Ниже приводятся погрешности определения B_{\sim} по результатам измерения КСВ и $|S_{12}|$ на приборе Р2-59. С учетом погреш-