

$$[S] = \frac{1}{D_V} \begin{bmatrix} 1 + y_L^2 \frac{\mu_{\parallel}^2 - \mu_{\perp}^2}{\mu_{\parallel}^2 + \mu_{\perp}^2} + -2y_L \frac{\mu_{\perp}}{\mu_{\parallel}^2 + \mu_{\perp}^2} + \\ + 2y_L y_C \frac{\mu_{\parallel}}{\mu_{\parallel}^2 + \mu_{\perp}^2} + i2y_C \\ 2y_L \frac{\mu_{\perp}}{\mu_{\parallel}^2 + \mu_{\perp}^2} + 1 + y_L^2 \frac{\mu_{\parallel}^2 - \mu_{\perp}^2}{\mu_{\parallel}^2 + \mu_{\perp}^2} + \\ + i2y_C + 2y_L y_C \frac{\mu_{\parallel}}{\mu_{\parallel}^2 + \mu_{\perp}^2} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $D_V = 1 - y_L^2 \frac{\mu_{\parallel}^2 - \mu_{\perp}^2}{\mu_{\parallel}^2 + \mu_{\perp}^2} + i2y_L \frac{\mu_{\parallel}}{\mu_{\parallel}^2 + \mu_{\perp}^2} + i2y_C$.

Поскольку в матрице $[S]$ $S_{12} \neq S_{21}$, то рассматриваемый четырехполюсник является необратимым и может быть представлен в виде каскадного соединения обратимого четырехполюсника и идеального преобразователя мощности [1]. Условием согласования вентиля по входу и по выходу является равенство нулю S_{11} и S_{22} . Диагональные элементы матрицы рассеяния являются коэффициентами передачи вентиля в прямом (+) и обратном (-) направлениях

$$K^{\pm} = \frac{\pm 2y_L \mu_{\perp} + i2y_C (\mu_{\parallel}^2 + \mu_{\perp}^2)}{\mu_{\parallel}^2 + \mu_{\perp}^2 - y_L^2 (\mu_{\parallel}^2 - \mu_{\perp}^2) + i[2y_L \mu_{\parallel} + 2y_C (\mu_{\parallel}^2 + \mu_{\perp}^2)]}. \quad (4)$$

При оптимизации параметров вентиля добиваемся максимума K^+ и минимума K^- .

1. Зелях Э. В. Идеальный преобразователь мощности — новый элемент электронной цепи // Электросвязь. 1957. № 1. С. 35—47. 2. Красилич Г. П. Эквивалентная схема полупроводникового вентиля // Вестн. Киев. политехн. ин-та: Радиотехника. 1978. Вып. 15. С. 80—82. 3. Красилич Г. П. Полупроводниковый вентиль метрового диапазона волн // Изв. вузов. Радиотехника. 1976. 19, № 3. С. 122—123. 4. Ортюзи Ж. Теория электронных цепей. М.: Мир, 1976. 400 с. 5. Толутис Р. Б. О свойствах полупроводниковых ВЧ-вентилей на эффект размерного резонанса электромагнитных магнитоплазменных волн // Радиотехника и электроника. 1978. Т. 23, № 3. С. 608.

Поступила в редколлегию 17.09.84

УДК 621.374

Г. А. ГАЛИНА, мл. науч. сотр., Г. И. КАЛЬНАЯ,
С. В. ОГУРЦОВ, кандидаты физ.-мат. наук

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАЖДЕННЫХ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ ПЛЕНОК ZnO

Обработка технологии получения пленок ZnO для устройств функциональной электроники нами осуществлялась с привлечением рентгеновских и оптических исследований. Пленки окиси цинка толщиной до 6 мкм наносились на подложки из плавленого кварца маг-

нетронным распылением мишени из спрессованного порошка ZnO при температуре подложек $T_n = 473$ К, скоростях нанесения V_n до 1,4 нм/с, 50 %-ном содержании кислорода в Ag — O₂ распылительной среде и рабочем давлении 0,66 Па. Рентгеновские исследования проводились на дифрактометре ДРОН-2,0 в Cu и Fe K α -излучении, оптические — на спектрофотометрах UR-20 и Fis-3.

Наличие на дифрактограммах только интерференционных отражений от плоскостей (001) — сильного (002) и слабых (004) и (006) указывало, что рост кристаллитов пленок осуществлялся базисной плоскостью (001) параллельно подложке.

V_n , нм/с	$(\Delta d/d)_{\text{микро}}$, %	$(\Delta d/d)_{\text{макро}}$, %
0,28	0	0
0,56	0,05	0,10
0,84	0,10	0,50
1,12	0,15	0,70
1,40	0,20	0,90

Кривые качания соответствовали гауссовым и характеризовались стандартным отклонением σ , не превышающим $\pm 1^\circ$, что указывало на высокую нормальную ориентацию пленок, необходимую для устройств на ПАВ [1].

Однако пленки, осажденные со скоростями, превышающими 0,28 нм/с, характеризовались механическими микро- и макронапряжениями, что соответственно сказывалось на уширении и смещении дифракционных линий. В таблице приведены относительные микро- и макродеформации кристаллической решетки ($(\Delta d/d)_{\text{микро}}$ и $(\Delta d/d)_{\text{макро}}$) в зависимости от скорости напыления V_n . Как видно, при магнетронном распылении критичной к величине V_n при заданной T_n является величина механических напряжений.

Механические напряжения в пленке влияли на спектры внешнего и нарушенного полного внутреннего отражения пленки и подложки. Обнаружено изменение интенсивности и смещение по частоте полос колебаний в области остаточных лучей в ZnO и плавленном кварце. Наблюдалось появление добавочного максимума ($\nu \approx 1250$ см⁻¹) в высокочастотном плече полосы отражения кварца, что обусловлено изменениями в структуре поверхностного слоя кварца под воздействием механических напряжений в осажденной пленке окиси цинка. Эти изменения в подложке, частично сохраняющиеся и после термообработки, устраняющей механические напряжения в пленках, могут приводить к нестабильной работе устройств на основе слоистых систем ZnO — SiO₂ в процессе их эксплуатации. Поэтому необходимо получать равновесные пленки ZnO непосредственно в процессе осаждения, работая на небольших скоростях — в нашем случае $V_{\text{равн}} \approx 0,28$ нм/с.

1. Хикернелл Ф. Преобразователи поверхностных волн на тонких пленках окиси цинка // ТИИЭР. 1976. Т. 64, № 5. С. 70—76.

Поступила в редколлегию 21.09.84