

ограничивающим длительность объемной фазы самостоятельного разряда в N_2 и рабочих смесях CO_2 лазеров с большим его содержанием, является неустойчивость, обусловленная ступенчатой ионизацией N_2 .

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Велихов Е.И., Письменный В.Д., Рахимов А.Т. // УФН. 1973. Т. 122. В. 3. С. 419-447.
- [2] Кучинский А.А., Люблин Б.В., Шеврев В.А. // ЖПС. 1986. Т. 45. № 6. С. 364-369.
- [3] Пивовар В.А., Сидорова Т.Д. // ЖТФ. 1985. Т. 55. № 5. С. 519-523.
- [4] Аполлонов В.В., Байцур Г.Г., Прохоров А.М., Семенов С.К., Фирсов К.Н. // Квантовая электроника. 1988. Т. 15. № 3. С. 553-556.
- [5] Бычков Ю.И., Королев Ю.Д., Месяц Г.А. и др. Инжекционная газовая электроника. Новосибирск: Наука, 1982, с. 237.
- [6] Аполлонов В.В., Семенов С.К., Фирсов К.Н., Хуснутдинов А.И. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 22. С. 1369-1373.
- [7] Бекефи Дж. Плазма в лазерах. М: Энергоатомиздат, 1982. 242 с.

Институт общей
физики АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
18 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 6
05.1; 05.2; 08

26 марта 1989 г.

О СТРУКТУРНЫХ И ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ПЛЕНОК ОКИСИ ЦИНКА

Н.И. Дьяконова, И.А. Евдосеева,
С.К. Тихонов, С.Э. Хабаров

Поликристаллические текстурированные пленки окиси цинка являются перспективным материалом для пьезоэлектрических преобразователей поверхностных акустических волн (ПАВ). Эффективность таких преобразователей зависит от пьезоэлектрических свойств пленок, которые определяются совершенством структуры пленок.

Традиционным методом ее исследования является рентгенодифрактометрический, а основными структурными характеристиками — угол наклона C -осей кристаллитов относительно нормали к поверхности подложки φ и угол разориентации кристаллитов $\Delta\theta$ [1].

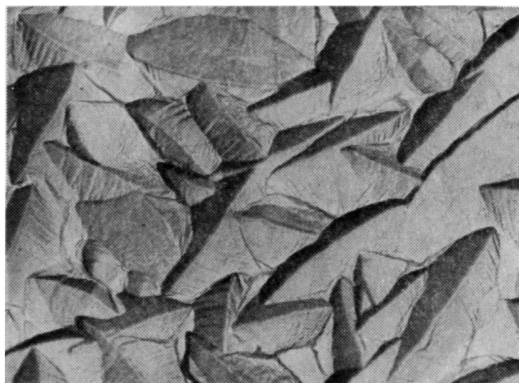


Рис. 1. Поверхность пленки ZnO на кремнии. Толщина пленки 3 мкм, увеличение $\times 24000$.

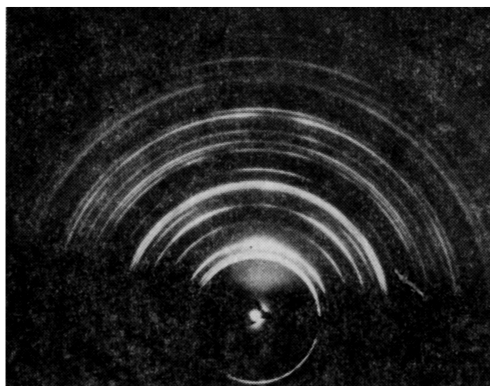


Рис. 2. Электронограмма от поверхности пленки рис. 1.

Для пленок с высокими пьезоэлектрическими свойствами измеренные таким методом φ и $\Delta\theta$ малы [1]. Обратное верно далеко не всегда. Пленки с измеренными малыми значениями φ и $\Delta\theta$ могут иметь низкие значения пьезомодуля d_{33} [2] и большие потери на преобразование и распространение ПАВ [3, 4]. Причины такого несоответствия, вероятно, в том, что рентгеновская дифракция дает усредненные по толщине пленки данные (ослабление рентгеновских лучей в цинке и кислороде мало), а пьезосвойства пленки в значительной степени зависят от локальных неоднородностей [5].

В настоящей работе микроструктура пленок ZnO изучалась в просвечивающем электронном микроскопе методом угольных реплик. Также исследовалась ориентация кристаллитов на поверхности пленок методом электронографии на отражение.



Рис. 3. Поверхность пленки ZnO на кремнии. Толщина пленки $0,8$ мкм, увеличение $\times 24000$.

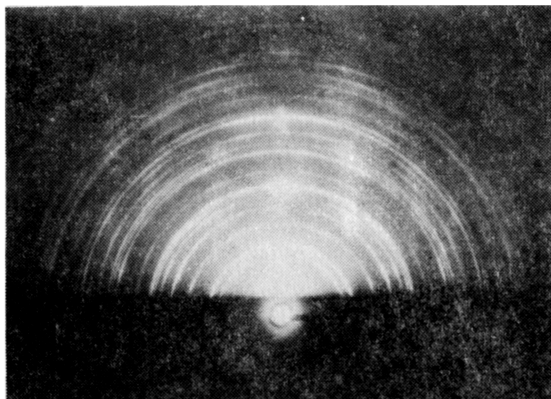


Рис. 4. Электронограмма от поверхности пленки рис. 3.

Образцы представляли собой пленки, выращенные на подложках из кремния (100) ориентации методом реактивного ионного магнетронного распыления. Величины φ и $\Delta\theta$, измеренные на дифрактометре ДРОН-3 методом вращения-качания, не превышали 1° и 5° соответственно. Таким образом, структуру пленок можно было считать достаточно совершенной [1]. В то же время значение квадрата коэффициента электромеханической связи не превышало 10–20% от теоретически возможного при выбранном соотношении h/λ (где h – толщина пленки, λ – длина ПАВ) [6].

Типичные микрофотографии пленок с толщиной $h \sim 3$ мкм приведены на рис. 1. Видно, что поверхность состоит из вытянутых кристаллитов с максимальным размером ~ 1 мкм, в расположении которых нельзя выделить преимущественных направлений. Выраженную

неравноосность кристаллитов в плоскости пленки трудно объяснить, если считать, что их C -оси ориентированы нормально к поверхности. Для определения ориентации поверхностных кристаллитов были сняты электронограммы на отражение (рис. 2). Как видно из рис. 2, электронограммы состоят из колец и протяженных дуг, и на них присутствуют все отражения от плоскостей ZnO гексагональной модификации, кроме отражений (0002) . Это означает, что в приповерхностном слое глубиной $\sim 100 \text{ \AA}$ (глубина электронографического анализа) нет кристаллитов с C -осью, нормальной к подложке. Такое несоответствие дифрактометрических и электронографических данных явно говорит в пользу предположения о неоднородности пленки по толщине, т.е. об изменении структуры в процессе роста.

Для исследования такого изменения были изучены „тонкие“ образцы (h составляла $\sim 0.8 \text{ мкм}$). Типичные микрофотографии поверхности показаны на рис. 3. Видно, что микроструктура поверхности „тонких“ пленок существенно иная, чем у „толстых“. Кроме характерных вытянутых кристаллитов, которые составляют поверхность „толстой“ пленки, на поверхности „тонкой“ пленки видны мелкие, равноосные в плоскости пленки кристаллиты с поперечным размером $\sim 200 \text{ \AA}$. Электронограмма „тонкой“ пленки приведена на рис. 4. Кольца и дуги на электронограмме, как и в случае „толстой“ пленки, соответствуют отражениям от всех плоскостей, кроме (0002) , а размытые точечные рефлексы идентифицируются как отражение от (0002) плоскостей. Сравнивая рис. 1–4, можно заключить, что квазиточечные рефлексы на рис. 4 связаны с мелкодисперсным слоем, а кольца и дуги – с крупными вытянутыми кристаллитами.

Полученные для „толстых“ и „тонких“ пленок результаты наглядно демонстрируют переориентацию пленки в процессе роста. На ранних стадиях роста в структуре преобладают очень мелкие кристаллиты с направлением $[0001]$, нормальным к подложке. С увеличением толщины пленки в ней появляются крупные кристаллиты других ориентаций и постепенно полностью вытесняют мелкодисперсную составляющую. Поскольку для гексагональных структур типа ZnO преимущественными направлениями роста являются $[0001]$, $[11\bar{2}0]$ и/или $[10\bar{1}0]$, то можно предположить, что крупные вытянутые кристаллиты ориентированы плоскостями $(11\bar{2}0)$ и/или $(10\bar{1}0)$ параллельно подложке.

Авторы выражают благодарность Л.Г. Хоха за проведение рентгенодифрактометрических измерений.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Н и с к е р н е л л F.S. // Proc. IEEE. 1976. V. 64. N 5. P. 631–635.
- [2] В ь ю н В.А., К р е й м е р А.А., Ю м а ш е в В.Н., Я к о в к и н И.Б. // Поверхность: физика, химия, механика. 1986. № 10. С. 151–153.

- [3] Котелянский И.М., Крикунов А.И., Пузанов В.А., Синельникова В.В. // Электронная техника, сер. 6: Материалы. 1984. В. 5 (190). С. 46-49.
- [4] Анисимкин В.И., Котелянский И.М. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 3. С. 179-183.
- [5] Шермергор Т.Д., Стрельцова Н.Н. Пленочные пьезоэлектрики. М.: Радио и связь. 1986. 136 с.
- [6] Kino G.S., Wagers R.S. // J. Appl. Phys. 1973. V. 44. N 4. P. 1480-1488.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
13 декабря 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 6
06.2; 12

26 марта 1989 г.

ПОЛЕВОЙ ТРАНЗИСТОР С МТДП КОНТАКТАМИ И ПОДЗАТВОРНЫМ ДИЭЛЕКТРИКОМ НА ОСНОВЕ ЛЭНГМЮРОВСКИХ ПЛЕНОК

В.С. Банников, Н.К. Матвеева,
И.В. Мягков, В.Р. Новак,
В.В. Ракитин, А.В. Серебренников

Применение моно- и мультислойных лэнгмюровских (МЛ) пленок в качестве диэлектрических слоев в структурах типа МДМ (металл-диэлектрик-металл) и МДП (металл-диэлектрик-полупроводник), в частности в МДП транзисторах, представляет интерес для создания новых типов тонкопленочных приборов и устройств [1-3]. Первый планарный МДП транзистор с МЛ пленкой - подзатворным диэлектриком изготовлен с диффузионными р-п-переходами стока и истока [4]. В работе [5] исследован МДП транзистор со стоком и истоком в виде структуры металл - туннельно-прозрачный диэлектрик (ТД) - полупроводник (МТДП транзистор) вместо традиционных р-п-переходов и показано, что для обеспечения высокого качества МТДП контакта необходима низкая плотность поверхностных состояний на границе раздела ТД - полупроводник ($N_{SS} < 10^{10} \text{эВ}^{-1} \text{х} \cdot \text{см}^{-2}$) и малая толщина ТД (1-2 нм). Именно такую толщину имеют монослойные лэнгмюровские пленки. Ранее монослойные лэнгмюровские пленки использовались в качестве туннельно-тонких слоев в МДМ структурах [6], где плотность туннельного тока составляла около 140 А/см^2 . Однако на состояние границ раздела в МДМ структурах не накладываются высокие требования, поэтому представляет интерес изучение возможности использования монослойных лэнгмюровских пленок в качестве ТД в МТДП контактах.