

02;04

Образование молекул и кластеров оксида цинка в квазизамкнутом объеме реактивной газоразрядной плазмы

© *Е.И. Бурылин, А.А. Веселов, А.Г. Веселов,
А.С. Джумалиев, С.Н. Иванов, О.А. Кирясова*

Саратовское отделение института радиотехники и электроники РАН

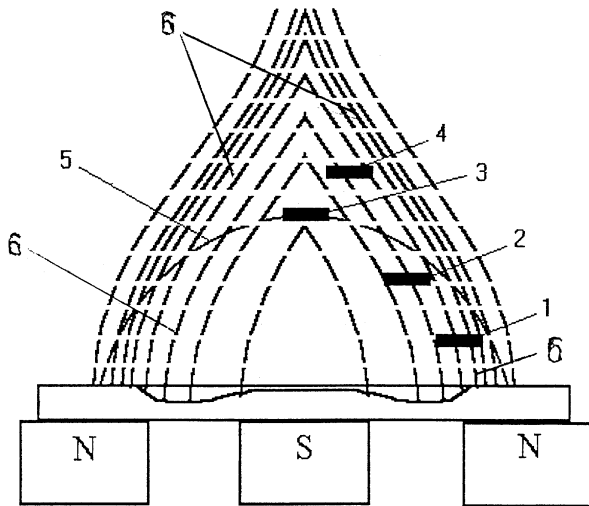
Поступило в Редакцию 3 августа 1999 г.

На примере пленок оксида цинка экспериментально установлено, что зарождение молекул и кластеров может происходить в объеме плазмы в зоне рекомбинационного горения в том случае, если длина свободного пробега не превышает размеров камеры. Зона зарождения достаточно узка, и положение ее сильно зависит от давления газов в камере. Пленки оксида цинка, выращенные в этой зоне, обладают текстурой с малым углом разориентации, малой толщиной текстуры зарождения и высокой пьезоактивностью.

Выращивание пленок оксида цинка с высокой пьезоактивностью, текстурой с малой толщиной зарождения требует более детального изучения влияния на зародышеобразование радиационных и других внешних воздействий.

Известно получение пьезоактивных пленок оксида цинка в классической планарной магнетронной распылительной системе [1] при традиционном расположении подложки вне зоны горения плазмы и высокой температуре подложки [2] с целью термической активации зародышеобразования пленки.

Однако такие пленки обладают низкой пьезоактивностью, большим углом разориентации текстуры. Это обусловлено тем, что на начальных стадиях роста пленки образуются устойчивые островки конденсированной фазы с различной ориентацией оптической оси, а иногда и с противоположенными осями. И только в процессе дальнейшего роста пленки по достижении толщин порядка долей микрона образуется пьезоактивная пленка. В этом случае пленка обладает большей текстурой зарождения и совершенно непригодна для возбуждения гиперзвука свыше 10 GHz.



Схематическое изображение области горения плазмы: 1-4 — подложки; 5 — граница поверхности зародышеобразования; 6 — область горения плазмы (начинается от области максимального катодного падения потенциала и следует вдоль нулевой компоненты нормальной составляющей магнитного поля).

Задачей данной работы является изучение фактора поверхностной рекомбинации ионов на электрофизические параметры пленок оксида цинка с целью получения пленок с малой толщиной текстуры зарождения и высокой пьезоактивностью.

Эксперимент проводился в классической планарной магнетронной распылительной системе в атмосфере аргона и кислорода. Для эффективного управления давлением газов использовался квазизамкнутый объем, представляющий собой кварцевый цилиндр радиусом 60 mm и высотой 15 mm.

В качестве мишени был применен диск из химически чистого цинка, который для охлаждения припаивался к центральному участку магнитопровода магнитной системы. Конфигурация магнитной системы и напряженность электрического поля выбирались таким образом, чтобы область отрицательного свечения (зона горения плазмы) представляла форму факела, как показано на рисунке. Для того чтобы установить,

где образуются молекулы оксида цинка, в квазизамкнутом объеме были расположены на разном удалении от мишени по вертикали и по радиусу от центра несколько подложек из полированного кварца достаточно малого диаметра (4–5 mm) так, чтобы они не перекрывали друг друга (см. рисунок). Основные технологические режимы были выбраны стандартными: газовая смесь — 70% кислорода, 30% аргона; температура подложек — 400°C; ток и напряжение разряда соответственно 100 mA и 600 V. В больших пределах изменялось давление в камере от 10^{-1} до 10^{-4} Torr, что определяло длину свободного пробега ионов. Так, например, при предельно низком для данной системы давлении 10^{-4} Torr все подложки покрывались чистым цинком — длина свободного пробега превышала линейные размеры квазизамкнутого объема. При повышении давления верхние подложки были покрыты оксидом цинка, оставаясь прозрачными, а нижние — металлическим цинком. Многочисленные эксперименты показали, что зона зарождения молекул оксида цинка находится на расстоянии длины свободного пробега от зоны эрозии и имеет толщину 2–3 mm. При переходе через зону зарождения молекул сопротивление пленки изменяется от сопротивления, соответствующего металлу, до сопротивления, соответствующего диэлектрику. В упомянутом диапазоне давлений граница конденсации проходила внутри квазизамкнутого объема. Пленки, выращенные точно на поверхности зародышеобразования, показанной на рисунке, стехиометричны. Пленки, выращенные выше этой области, обладают избытком кислорода (более высоким удельным сопротивлением), а нижние пленки — избытком цинка. И в том и другом случае нарушается стехиометрия.

Важно отметить, что в положении подложки 3 (см. рисунок), т. е. в зоне, условно говоря, ”умеренного” горения плазмы (прикатодное падение потенциала против этой области не превышает 20–30 V), пленки обладают высокой пьезоактивностью. При толщине пленок 0.18 μm они эффективно возбуждали гиперзвук в алюмоиттриевом гранате на частотах до 18 GHz .

В традиционных магнетронных системах зона свечения значительно удалена от подложки, а зародышеобразование активируется температурой подложки. Если же подложку поместить в зону ”интенсивного” горения плазмы (прикатодное падение более 100 V), то пленка обладает искаженной текстурой (зона ”смутности”). В нашем случае такая зона тоже наблюдается в верхней области факела.

Зарождение молекул в зоне рекомбинационного горения плазмы подтверждается в другом эксперименте. Если давление газа в камере достаточно высоко (мала длина свободного пробега), образовавшаяся молекула начинает "обрастать", формируя кластер. Закрепляясь на аноде или стенках квазизамкнутого объема, кластер достигает в своем росте макроразмеров, часто повторяя гексагональную форму элементарной ячейки оксида цинка. При достижении определенной массы такие макрокластеры с размерами, достигающими единиц μm , откалываются от анода и падают на мишень. Такой процесс при отмеченных выше условиях легко реализуется и, возможно, станет основой для синтеза макрокластеров других материалов для микроэлектроники в реактивной газоразрядной плазме.

Таким образом, в настоящей работе экспериментально показано, что рекомбинационная (или кинетическая) энергии ионов в области горения плазмы не всегда является разрушающим фактором при синтезе текстурированных пленок. При определенных концентрациях рекомбинирующих ионов, найденных пока экспериментально, эти энергии способствуют активации зарождения молекул и кластеров на поверхности подложки и в объеме плазмы.

Список литературы

- [1] Данилин Б.С., Сырчин В.К. Магнетронные распылительные системы. М.: Радио и связь, 1982. 72 с.
- [2] *Технология тонких пленок*: Справочник / Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. Нью-Йорк, 1970. Пер. с англ. под ред. М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко. Т. 2. М.: Сов. радио, 1977. 768 с.