

РОСТ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК Fe_2O_3 НА ПОДЛОЖКАХ ИЗ НИОБАТА ЛИТИЯ

© 2022 г. В. А. Лузанов*

*Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
пл. Введенского, 1, Фрязино, Московской обл., 141190 Российская Федерация***E-mail: valery@luzanov.ru*

Поступила в редакцию 13.09.2021 г.

После доработки 13.09.2021 г.

Принята к публикации 22.09.2021 г.

Впервые получены эпитаксиальные пленки гематита ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) и маггемита ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) на подложках LiNbO_3 методом реактивного магнетронного высокочастотного распыления. Проведенный рентгеноструктурный анализ полученных пленок показал, что небольшое рассогласование кристаллических решеток позволяет получить данным методом структурно-совершенные эпитаксиальные слои Fe_2O_3 разных полиморфных модификаций на подложках LiNbO_3 .

DOI: 10.31857/S003384942203010X

Известно, что оксид трехвалентного железа существует в четырех полиморфных фазах: α , β , γ , ϵ . Первая и третья модификации встречаются в природе, имеют одинаковый химический состав, но отличаются строением кристаллической решетки. $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ или гематит обладает кристаллической решеткой типа корунда с тригональной сингонией и параметрами решетки $a = 5.038 \text{ \AA}$ и $c = 13.772 \text{ \AA}$. $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (маггемит) обладает кристаллической решеткой кубической сингонии и параметром $a = 8.330 \text{ \AA}$. Наиболее распространенной модификацией является $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$. В отличие от обычных ферромагнетиков, в гематите, являющемся ферримангнетиком, сумма магнитных моментов подрешеток не равна нулю, что приводит к спонтанному намагничиванию. В связи с этим гематит представляет большой интерес для изучения спин-волновых процессов.

Ниобат лития широко используется в элементах оптических модуляторов, пьезоэлектрических датчиков и других линейных и нелинейных устройств. Он также имеет кристаллическую решетку тригональной сингонии с параметрами $a = 5.148 \text{ \AA}$ и $c = 13.863 \text{ \AA}$, что весьма близко к структурным параметрам гематита. Это создает хорошие предпосылки к эпитаксиальному росту пленок гематита на ниобате лития.

В ряде работ уже сообщалось о получении пленок гематита. В частности, в [1] $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ выращивался методом газофазного осаждения (CVD) для использования в качестве буферного слоя при росте пленок Ga_2O_3 на LiNbO_3 . В работе [2] эпитаксиальные пленки гематита выращивали методом

диодного ВЧ-распыления на подложках из галлий-гадолиниевого граната. Золь-гель-технология использовалась в [3].

Об эпитаксиальном росте пленок гематита на ниобате лития методом магнетронного распыления ранее не сообщалось. В связи с этим в ходе данной работы были проведены исследования влияния технологических параметров данного метода на структурообразование пленок гематита на таких подложках.

Осаждение проводили методом магнетронного реактивного ВЧ-распыления железной мишени в смеси кислорода и аргона. Из-за того, что железо сильно ослабляет неоднородное магнитное поле над поверхностью мишени, уменьшая эффективность ионизации рабочего газа в плазме при магнетронном разряде, был выбран метод высокочастотного распыления и увеличено давление до 10^{-2} Торр. При таком давлении длина свободного пробега молекул газа и распыляемых частиц уменьшается до 1 см, снижая тем самым энергетическое воздействие на растущую пленку и уменьшая образование дефектов. Соотношение парциальных давлений кислорода и аргона составляло 1 : 10, что обеспечивало достаточное количество кислорода для образования стехиометрического оксида железа и уменьшало интенсивность бомбардировки растущей пленки отрицательно заряженными ионами кислорода. О влиянии бомбардировки, характерной для реактивных процессов при магнетронном распылении на рост оксидных пленок сообщалось в [4]. Скорость роста пленки при мощности разряда 300 Вт и расстоянии между мишенью и под-

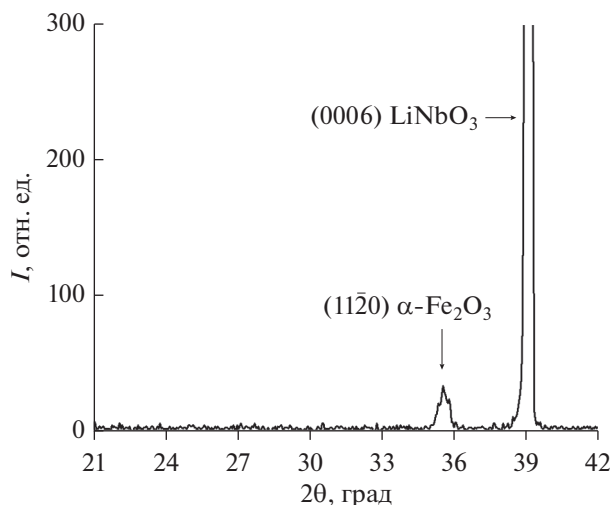


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма от пленки $(11\bar{2}0)$ α - Fe_2O_3 , осажденной при температуре подложки 400°C .

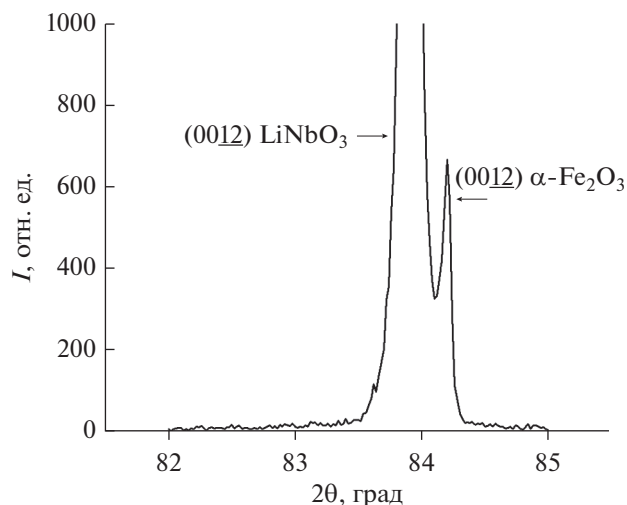


Рис. 3. Рентгеновская дифрактограмма от пленки (0001) α - Fe_2O_3 , осажденной при температуре подложки 700°C .

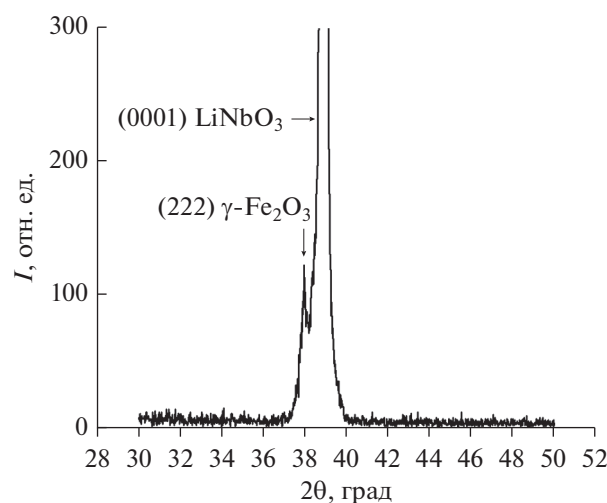


Рис. 2. Рентгеновская дифрактограмма от пленки γ - Fe_2O_3 , осажденной при температуре подложки 600°C .

ложкой 5 см составила около $50 \text{ \AA}/\text{мин}$. Осаждение пленки оксида железа было проведено при температурах подложки 20 , 400 , 600 и 700°C . При осаждении на подложку без нагрева из-за недостаточной локализации плазмы в области катода происходит электронная бомбардировка поверхности растущей пленки, приводящая к разогреву подложки до 200°C . Однако такой температуры оказалось недостаточно для кристаллизации. Согласно результатам рентгеноструктурного анализа, пленка оксида железа оказалась рентгеноаморфной. Далее температура подложки была повышена

до 400°C . На рис. 1 приведена рентгеновская дифрактограмма от полученного образца. Кроме пика от подложки наблюдается еще одна дифракционная линия, соответствующая отражению от плоскости $(11\bar{2}0)$ α - Fe_2O_3 . При температуре подложки 600°C происходила кристаллизация кубической полиморфной модификации γ - Fe_2O_3 . Дифрактограмма для 2-го порядка отражения приведена на рис. 2. Повышение температуры подложки до 700°C позволило получить структурно-совершенные слои гематита с ориентацией (0001) . Дифракционная линия 12-го порядка от α - Fe_2O_3 приведена на рис. 3.

Таким образом, использование магнетронного разряда и достаточно высокая температура подложки позволяют получать эпитаксиальные пленки гематита на подложках из ниобата лития.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 19-07-00432, 18-29-19047, 20-07-01075).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shimazoe K., Nishinaka H., Arata Y. et al. // AIP Advances. 2020. V. 10. № 5. P. 055310.
2. Gomi M., Toyoshima H., Yamada T. // J. Physique IV Proc., EDP Sci. 1997. V. 07(C1). P. C1-481.
3. Baratto C., Lottici P.P., Bersani D., Antonioli G. // J. Sol-Gel Sci. Technol. 1998. V. 13. P. 667.
4. Luzanov V.A., Alekseev S.G., Polzikova N. // J. Commun. Technol. Electronics. 2018. V. 63. № 9. P. 1076.