

Исследование процессов получения пленок на сапфире для газочувствительных датчиков

Ю.В. Клуникова

*Южный федеральный университет,
Институт нанотехнологий, электроники и приборостроения, Таганрог*

Аннотация: В статье представлены разработанные автором технологические маршруты формирования пленок на поверхности сапфира для газочувствительных датчиков с использованием лазерного излучения длиной волны 1064 нм. Определено, что лазерное излучение позволяет повысить производительность при изготовлении газочувствительных элементов, модифицировать кристаллическую и дефектную структуру материалов, повысить качество оксидной пленки, воспроизводимость параметров пленки и их стабильность.

Ключевые слова: сапфир, пленка, газочувствительный датчик, лазерное излучение, чувствительный элемент, технологический маршрут, полупроводниковые материалы.

Спрос на портативные газовые датчики в настоящее время сильно вырос в связи с необходимостью их использования в различных областях техники (для предотвращения взрывов и пожаров, при работе с взрывоопасными и ядовитыми газами), а также для мониторинга экологической обстановки в крупных городах.

Оксидные пленки TiO_2 , MnO_2 , Fe_2O_3 в качестве чувствительного материала наиболее популярны из-за технологичности и низкой стоимости, высокой химической стабильности, механической прочности, высокой адгезии к сапфиру и т.д. Подложки сапфира обладают комплексом определенных физических свойств (высокая температура плавления, химическая и радиационная стойкость, высокая твердость и прозрачность) и благодаря чему они находят широкое применение для газового сенсора. Полупроводниковые газовые детекторы характеризуются малыми размерами, высокой чувствительностью и надежностью [1-3].

Благодаря выгодному отношению поверхности материала к объему тонкие пленки окислов металлов наиболее пригодны для изготовления сенсоров. При создании тонкопленочных сенсоров могут быть использованы

основные технологические методы микроэлектроники: вакуумное напыление и фотолитография. Применение более совершенных технологий способствует повышению производительности при изготовлении газочувствительного элемента, уменьшению его размеров и потребляемой мощности [4-11].

Применение лазерного излучения для получения тонких пленок на поверхности подложки способствует повышению производительности при изготовлении газочувствительного элемента, воспроизводимости параметров пленки и их стабильности, повышению качества окисла. Малая продолжительность лазерного отжига пленок на поверхности подложки исключает необходимость обеспечения вакуумных условий или специальной инертной атмосферы для предотвращения загрязнения поверхности нежелательными неконтролируемыми примесями [12-13].

На рисунках 1 – 3 представлены разработанные технологические маршруты формирования пленок на поверхности сапфира. Характерными отличиями данных технологических маршрутов получения пленок является использование лазерного излучения на установке (модель LIMO 100-532/1064-U), которая включает в себя инфракрасный (ИК) Nd:YAG лазер с фиксированной длиной волны 1064 нм, длительностью импульса 45 нс и энергией в импульсе, которая могла бы задаваться программно в диапазоне от 0,1 до 100 Вт. Для технологических маршрутов на рисунках 1 – 2 характерным отличием является получение пленок на поверхности сапфира из раствора. Импульсное лазерное облучение границы раздела «твердое тело/жидкость» привело к осаждению на его поверхности пленок, что является интересным для технологий тонкопленочной оптоэлектроники. Абляция сапфира лазерным излучением в жидкости является одним из методов создания микроструктур, которые требуют дальнейшего исследования их свойств и применения. Лазерное облучение границы

«сапфир/поглощающая жидкость» позволяет реализовать локальное эпитаксиальное осаждение оксидных пленок на поверхности сапфира с пространственным разрешением порядка диаметра лазерного пучка.

Немаловажным фактором для получения микроструктур на поверхности сапфира является отсутствие вакуума при реализации данного метода с помощью лазерного излучения.

Технологический маршрут формирования пленки Fe_2O_3 на границе раздела «твердое тело/жидкость» с помощью лазерного излучения представлен на рисунке 1.

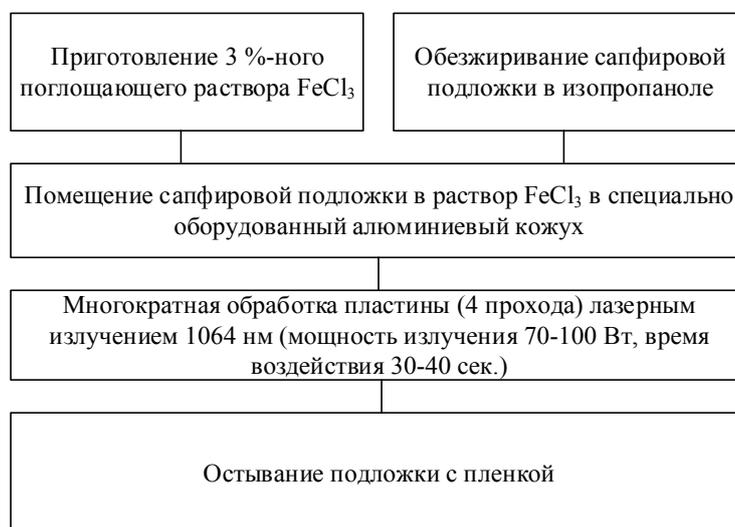


Рис. 1 – Технологический маршрут формирования пленки Fe_2O_3 на границе раздела «твердое тело/жидкость» с помощью лазерного излучения

Технологический маршрут формирования пленки MnO_2 на границе раздела «твердое тело/жидкость» с помощью лазерного излучения представлен на рисунке 2.

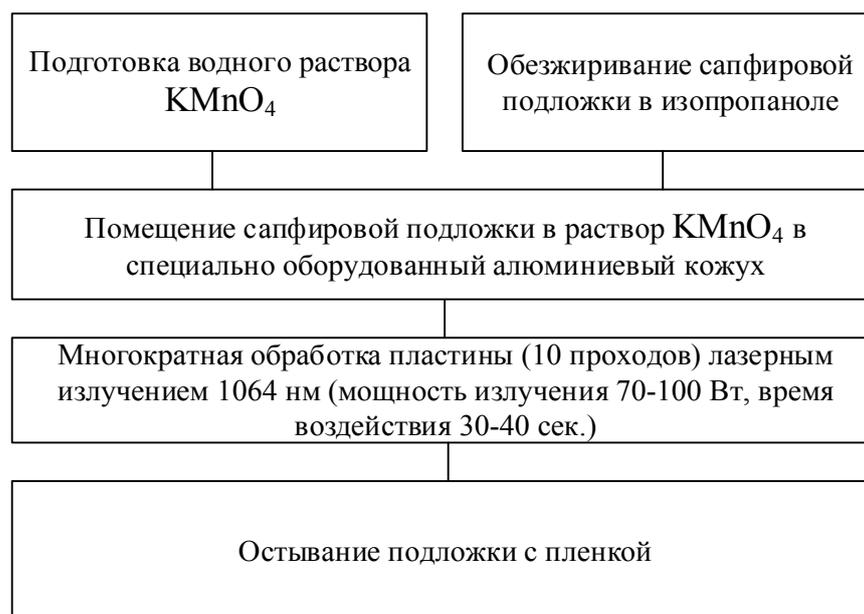


Рис. 2 – Технологический маршрут формирования пленки MnO₂ на границе раздела «твердое тело/жидкость» с помощью лазерного излучения

Технологический процесс лазерного отжига пленки Fe₂O₃ можно представить в виде схемы на рисунке 3. Воздействие лазерного излучения на материалы может приводить к различным изменениям их кристаллической структуры. Определено, что в зависимости от параметров лазерного излучения можно достигать улучшения качества поверхности пленок.

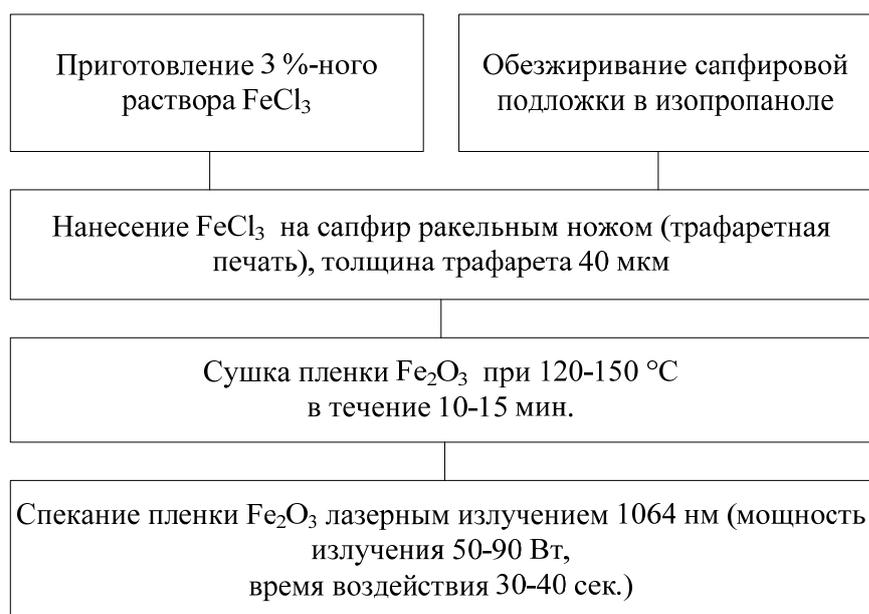


Рис. 3 – Схема технологического процесса формирования пленки Fe_2O_3

Технологический процесс лазерного отжига пленки TiO_2 можно представить в виде схемы на рисунке 4.

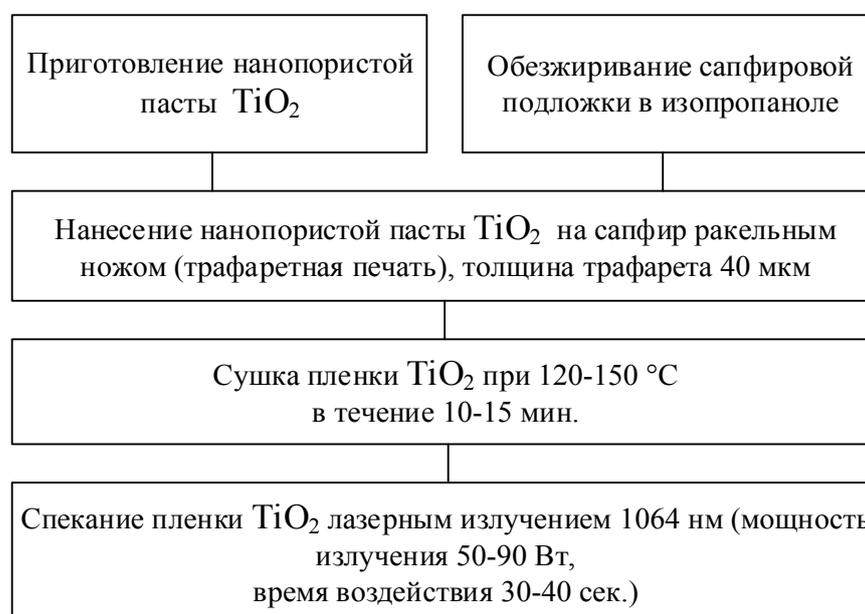


Рис. 4 – Схема технологического процесса формирования пленки TiO_2

Разрабатываемый газовый сенсор имеет на 10% меньшее потребление мощности, чем известные аналоги, а повышение быстродействия обеспечивает более точный мониторинг окружающей среды. Варьируя состав и структуру газочувствительного слоя, можно управлять чувствительностью и селективностью сенсора к различным компонентам.

Таким образом, проведено экспериментальное исследование формирования пленок оксида железа, оксида марганца, оксида титана и ряда других на сапфировой подложке с использованием лазерного излучения, разработаны технологические маршруты их получения для газочувствительных датчиков, тонкопленочных транзисторов, жидкокристаллических дисплеев. Определено, что лазерное излучение позволяет повысить производительность при изготовлении газочувствительного элемента, модифицировать кристаллическую и дефектную структуру материалов, повысить качество окисла, воспроизводимость параметров пленки и их стабильность.

Результаты получены с использованием оборудования Научно-образовательного центра «Лазерные технологии», Центра коллективного пользования и Научно-образовательного центра «Нанотехнологии», Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета (г. Таганрог).

Статья написана в рамках выполнения проекта ФЦП Россия № 14.587.21.0025. Уникальный идентификатор проекта RFMEFI58716X0025.

Литература

1. Крылов О.В. Гетерогенный катализ. Москва: ИКЦ «Академкнига», 2004. 679 с.
2. Гаськов А.М., Румянцева М.Н. Выбор материалов для твердотельных газовых сенсоров // Неорганические материалы. 2000. № 3. С. 369-378.



3. Петров В.В. Технологические основы создания твердотельных сенсоров газов на основе нанокompозитных оксидных материалов. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. 2011. 337 с.

4. Угай Я.А. Введение в химию полупроводников. Москва: Высш. шк., 1975. С. 302.

5. Herrmann J.M., Desdier J., Fernandez V.M. Oxygen gas sensing behavior of nanocrystalline tin oxide prepared by the gas phase condensation method // Nanostructured Material. 1977. V.8. № 6. pp. 675-686.

6. Алферов Ж.И., Копьев П.С., Сурис Р.А. Наноматериалы и нанотехнологии // Нано- и микросистемная техника. 2003. № 8. С. 3-13.

7. Wang Y.D., Wu X.H., Su Q., Li Y.-F., Zhou Z.L. Ammonia-sensing characteristics of Pt and SiO₂ doped SnO₂ materials // Solid-State Electronics. 2001. V.45. pp. 347-350.

8. Шатохин А.Н., Путилин Ф.Н., Рыжиков А.С. и др. Чувствительность к водороду тонких пленок SnO₂, поверхностно легированных платиной методом лазерной абляции // Сенсор. 2003. № 3. С. 38-43.

9. Буслов В., Кожевников В., Куликов Д., Рембеза С., Русских Д. Полупроводниковые чувствительные элементы для датчиков газов и систем сигнализации // Современная электроника. 2008. № 7. С. 22-27.

10. Гусев Е.Ю., Михно А.С., Гамалеев В.А., Юрченко С.А. Исследования влияния относительной влажности воздуха на электрическое сопротивление нанокристаллических пленок ZnO, полученных методом реактивного магнетронного распыления // Инженерный вестник Дона, 2014, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2014/2554/.

11. Жилин Д.А., Лянгузов Н.В., Кайдашев Е.М., Распопова Е.А., Цатурян А.А., Серый Н.А. Получение и исследование оптических свойств массивов наночастиц Au на поверхности тонких пленок ZnO // Инженерный вестник Дона, 2014, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2014/2587/.

12. Клунникова Ю.В., Малюков С.П., Саенко А.В. Исследование процессов лазерной обработки материалов для микроэлектроники // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014. № 8. С. 15-19.

13. Клунникова Ю.В., Малюков С.П., Саенко А.В. Моделирование процесса лазерной обработки сапфира // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 9. С. 39-45.

References

1. Krylov O.V. Geterogennyj kataliz [Heterogeneous catalysis]. Moskva: ИКС «Akademkniga», 2004. 679 p.
2. Gas'kov A.M., Rumjanceva M.N. Neorganicheskie materialy. 2000. № 3. pp. 369-378.
3. Petrov V.V. Tehnologicheskie osnovy sozdaniya tverdotel'nyh sensorov gazov na osnove nanokompozitnyh oksidnyh materialov [Technological bases of creation of solid-state gas sensors based on nanocomposite oxide materials]. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni d.t.n. 2011. 337 p.
4. Ugaj Ja.A. Vvedenie v himiju poluprovodnikov [Introduction to the chemistry of semiconductors]. Moskva: Vyssh. shk., 1975. P. 302.
5. Herrmann J.M., Desdier J., Fernanrez V.M. Nanostructured Material. 1977. V.8. № 6. pp. 675-686.
6. Alferov Zh.I., Kop'ev P.S., Suris R.A. Nano- i mikrosistemnaja tehnika. 2003. № 8. pp. 3-13.
7. Wang Y.D., Wu X.H., Su Q., Li Y.-F., Zhou Z.L. Solid-State Electronics. 2001. V.45. pp. 347-350.
8. Shatohin A.N., Putilin F.N., Ryzhikov A.S. Sensor. 2003. № 3. pp. 38-43.
9. Buslov V., Kozhevnikov V., Kulikov D., Rembeza S., Russkih D. Sovremennaja jelektronika. 2008. № 7. pp. 22-27.
10. Gusev E.Ju., Mihno A.S., Gamaleev V.A., Jurchenko S.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2014/2554/.



11. Zhilin D.A., Ljanguzov N.V., Kajdashev E.M., Raspopova E.A., Caturjan A.A., Seryj N.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2014/2587/.

12. Klunnikova Ju.V., Maljukov S.P., Saenko A.V. Izvestija SPbGJeTU «LJeTI». 2014. № 8. pp. 15-19.

13. Klunnikova Ju.V., Maljukov S.P., Saenko A.V. Izvestija JuFU. Tehniceskie nauki. 2014. № 9. pp. 39-45.