

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА И АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛООКСИДНЫХ ВАРИСТОРОВ

Акимов А.И.¹, Адашкевич С.В.², Дорожок Е.К.², Стельмах В.Ф.²

¹Институт физики твердого тела и полупроводников НАНБ, ул. П. Бровки 17, Минск

²Белорусский государственный университет, проспект Ф. Скорины 4, Минск

Металлооксидные варисторы (МОВ) являются в настоящее время наиболее оптимальными и предпочтительными элементами для использования в устройствах защиты от перенапряжений по своим электрическим характеристикам, надежности и стабильности.

Особенностью современной технологии производства МОВ является ее заметное приближение по культуре и наукоемкости к требованиям, характерным для изделий электронной техники [1]. Более того, основные физические механизмы, характерные для ультрадисперсной гетерогенной структуры МОВ, привлекают внимание исследователей к принципиально новым возможностям таких модельных низкоразмерных систем, проявляющимся при уменьшении размеров их элементов (вплоть до нанометрового диапазона), и использования их для создания нового типа функциональных элементов микро- и оптоэлектроники. В связи с этим можно ожидать взаимоблагоприятное смыкание достижений параллельно развивающихся областей электротехники и электроники.

Основным компонентом металлооксидных варисторов (около 97% в массовых долях) является ZnO, широкозонный полупроводник с удельной проводимостью $\sim 1 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ и шириной запрещенной зоны 3.2 эВ, обладающий уникальными поверхностными свойствами [2]. Легирующие примеси, вводимые в количестве от двух до восьми, можно разделить на поверхностноактивные и минерализаторы. К первым относят оксиды, катионы которых непосредственно участвуют в образовании локализованных состояний на поверхности кристаллитов: Bi, Co, Mn, Ti, а также другие трехвалентные ионы. Минерализаторы обеспечивают высокие керамические характеристики МОВ. Часть из них может в процессе обжига образовывать промежуточные соединения с поверхностными оксидами и способствовать или затруднять легирование поверхности кристалла.

Микроструктура МОВ – гетерогенная систем из кристаллитов ZnO и диэлектрической межкристаллитной прослойки. Кристаллиты представляют собой мелкие зерна вюрцита ZnO размером от 5 до 20 мкм (рис. 1). Ядро зерна – хороший электрический проводник n-типа, а границы зерна, наоборот, образуют сильный изолирующий слой шириной не более 0.2 мкм за счет диффузии легирующих добавок вглубь кристалла и хемадсорбции кислорода на поверхности.

Микроструктура МОВ должна быть высокоплотной без пор и разрывов контактов между элементами, а все этапы технологии производства должны быть направлены на достижение этих требований.

Нелинейные свойства металлооксидных полупроводников типа ZnO (Bi, Co, Mn, Sb, Cr) определяется потенциальными барьерами на поверхности кристаллитов, а не межкристаллической прослойкой. Вместе с тем, требует уточнения структура и свойства этих принципиальных приповерхностных областей кристаллитов. Поскольку в состав этой структуры входят атомы магнитных ионов, распределяющиеся в диамагнитной матрице ZnO, то наиболее прямым и эффективным методом диагностики свойств могут служить радиоспектроскопические методы (ЭПР, ФМР и др.).

Измерения спектров магнитного резонанса МОВ (рис. 1-2) действительно показали возможность реализации магниторезонансной диагностики на всех стадиях ключевых операций технологии производства, а также при установлении физико-технологических причин деградации, старения и отказов МОВ. Определяющая роль поверхностных состояний

на поверхности кристаллитов дополнительно подтверждается измерениями сигналов магнитного резонанса при приложении электрического поля к варисторной структуре. Приложение электрического поля к принципиальному элементу МОВ — двойному барьеру Шоттки практически не оказывает влияния на амплитуду и форму многокомпонентного сигнала магнитного резонанса.

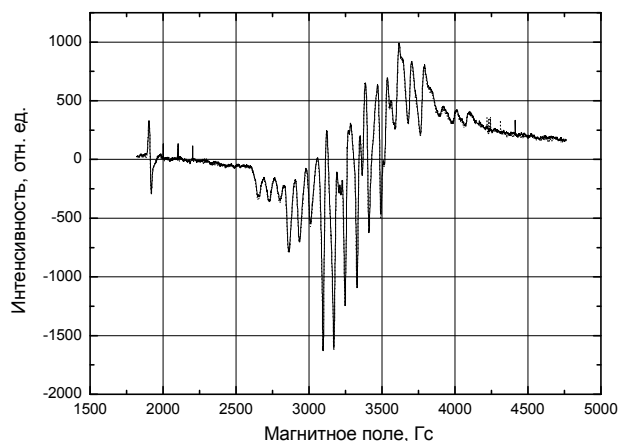
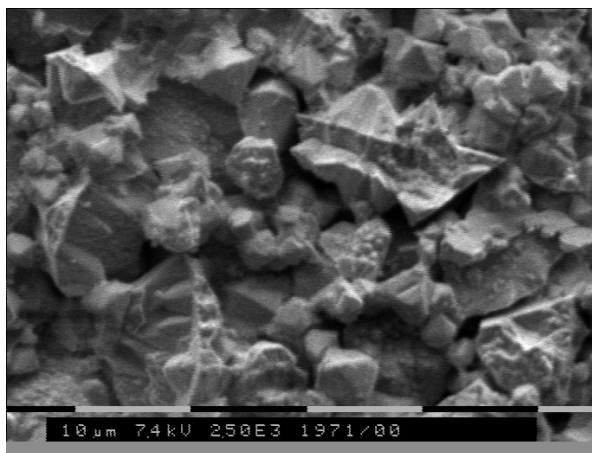


Рис. 1. Структура и спектр магнитного резонанса материала отожженного МОВ

В докладе представлены примеры реализации функциональной диагностики [1], использующие варианты радиоспектроскопических методов, для обеспечения однородности состава суспензий, пресс-порошка и оптимизации режимов термообработки.

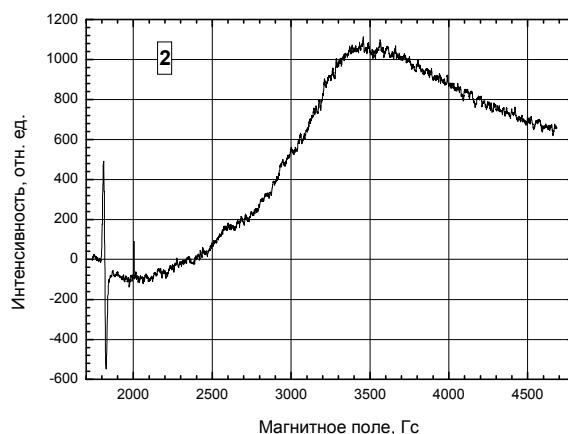
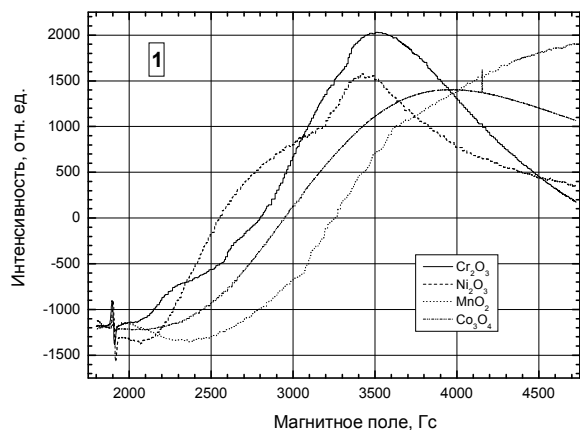


Рис. 2. Спектры магнитного резонанса легирующих компонентов МОВ (1) и пресс-продукта МОВ до обжига (2)

Разработанный нами смеситель суспензии (рис. 3) решает задачу осуществления функциональной диагностики степени смешивания и повышения производительности. Смеситель содержит бункер 1, блоки загрузки 2 и выгрузки 3, блок смешивания на основе электромотора 4, на валу 5 которого закреплены лопастные мешалка 6 и выводной компрессор из трех секций 7, 8, 9. Выход 10 соединен шлангом 11 со входом 12 блока выгрузки 3 в верхней части бункера 1 и дополнительно содержит блок контроля степени смешивания 13 в виде измерителя тока электромотора 4, соединенный элементами связи 14 с электромотором 4 и источником питающего электромотор 4 переменного напряжения связью 15. Блок выгрузки 3 содержит вывод 16 и разветвитель потока суспензии 17 на четыре выхода 18, 19, 20 и 21, распределенные по периметру бункера 1.

Смеситель обеспечивает существенное повышение производительности технологического процесса приготовления суспензий или растворов благодаря ускорению процессов перемешивания при одновременной функциональной диагностике степени смешивания на всех его стадиях, что позволяет реализовать автоматический режим адаптивного управления, требуемый современной технологией.

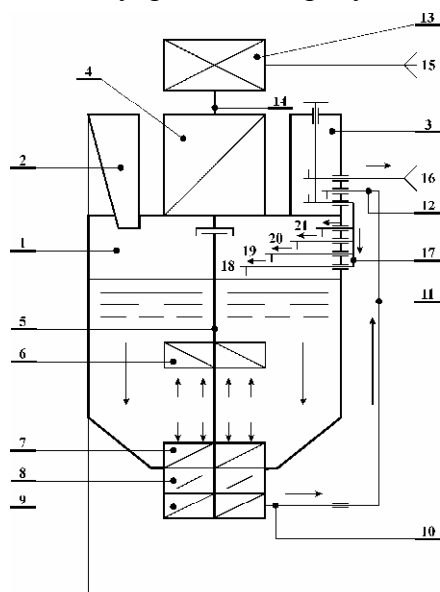


Рис. 3

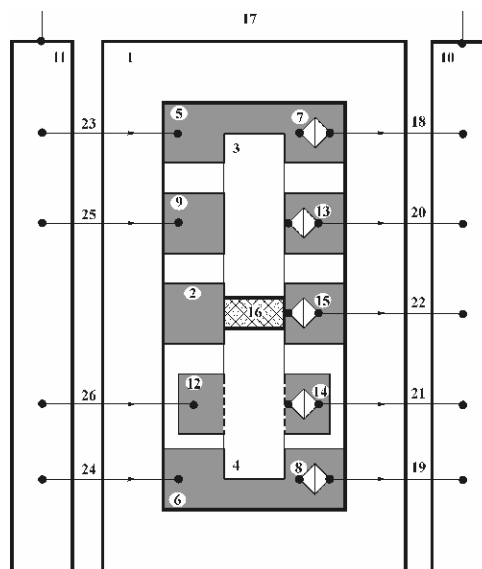


Рис. 4

Устройство для прессования шликера МОВ (рис. 4) может использоваться также при изготовлении позисторов, изделий из пьезокерамики и ферритов. Устройство решает задачу повышения однородности прессования порошков при снижении пористости пресс-продукта. Оно содержит станину 1, пресс-блок на основе матрицы 2 и двух пуансонов 3 и 4 в форме цилиндров, связанных с гидроприводами 5 и 6, датчики давления 7 и 8, блок загрузки-выгрузки пресс-продуктов 9, контроллер режимов 10 прессования, связанный связями 18 и 19 с выходами датчиков давления, блок управления режимами прессования 11, связанный связью 17 с контроллером режимов, гидроприводами и блоком загрузки-выгрузки. Существенным элементом является механизм колебательно-вращательного движения 12, связанный с пуансоном и блоком управления режимами прессования, датчиками перемещения 13 и 14. Выходы датчиков перемещения связаны связями 20 и 21 с контроллером режимов. Пресс-блок также дополнительно содержит датчик структурных изменений 15 пресс-продуктов, связанный связью 22 с контроллером режимов, расположенном на внутренней поверхности 16 матрицы.

Устройство для прессования шликера обеспечивает существенное повышение производительности технологического процесса прессования, повышение однородности прессования порошков при снижении пористости пресс-продукта. Принцип функциональной диагностики осуществляется на всех стадиях, что позволяет реализовать автоматический режим адаптивного управления.

Литература

- [1] S. Adashkevich, V. Stelmakh, R. Fedoruk, P. Zukowski, J. Partyka, P. Wegierek. Adaptive control of electric arc creation processes of carbon clusters // V International Conference "Ion implantation and other application of ions and electrons". –Kazimierz Dolny, 2004. –P. 231-234.
- [2] Валеев Х.С., Квасков В.Б. Нелинейные металлооксидные полупроводники. – М.: Энергоиздат, 1983. – 160 с.