

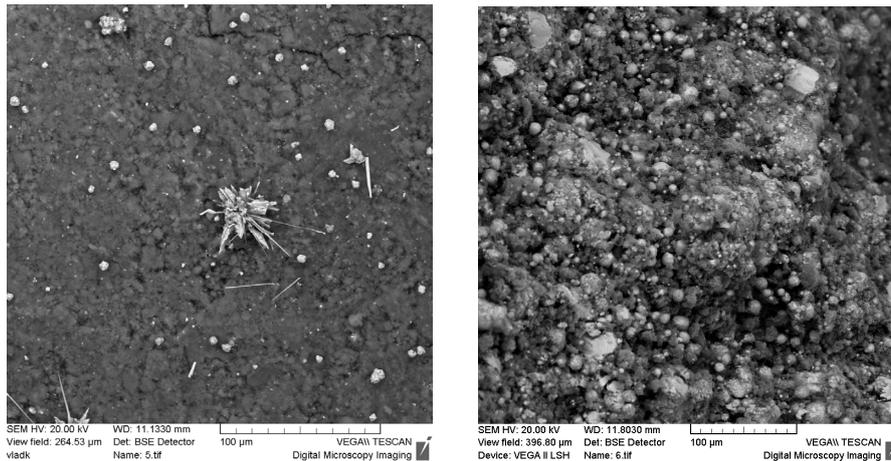
## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТИПА МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИКИ И ПОЛУПРОВОДНИК-ДИЭЛЕКТРИК НА ОСНОВЕ КОМПАКТИРОВАННЫХ $\text{SiO}_2$ -ПОРОШКОВ

А. А. Алексеенко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет» имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Получение отдельно локализованных микро- и наночастиц металлов или полупроводников в «жестких» диэлектрических средах определяется особенностями химического взаимодействия вещества-допанта с окружающей матрицей-носителем. Концентрация вводимых веществ, на основе которых проводится «сборка» отдельных микро- и наночастиц, обычно составляет до 1 мас. %. Увеличение концентрации веществ-допантов вызывает или ситаллизацию формируемого композиционного материала (для металлов) или образование сложных оксокомплексов (при введении полупроводников, например, диоксида германия). Термообработка в водороде на температурах до 800 °С приводит к восстановлению металлов и полупроводников без их взаимодействия с матрицей-носителем. Дальнейшее повышение температуры может вызвать растворение металлов в  $\text{SiO}_2$ -матрице или достаточно интенсивное испарение полупроводников (в нашем случае –  $\text{Ge}^0$ ). Для молекулярных полупроводников этот процесс также может сопровождаться их термодеструкцией.

На рисунке 1 приводятся РЭМ-изображения поверхности таблеток состава  $\text{SiO}_2:\text{Ge}^0$ , сформированных отжигом в водороде при  $T = 600$  °С (рис. 1, а) и  $T = 800$  °С (рис. 1, б), соответственно. Видно, что при повышении температуры на 200 °С происходит процесс «сборки» восстановленного германия из микроразмерных агломератов частиц и сложнокристаллических дендритных образований в отдельно локализованные сферообразные микро- и наноразмерные частицы. На рис. 2 приводятся РФА-спектры, демонстрирующие процесс восстановления оксида меди  $\text{Cu(II)}$  в восстановленную медь с частичным сохранением оксокомплексов  $\text{Cu(II)}$ .

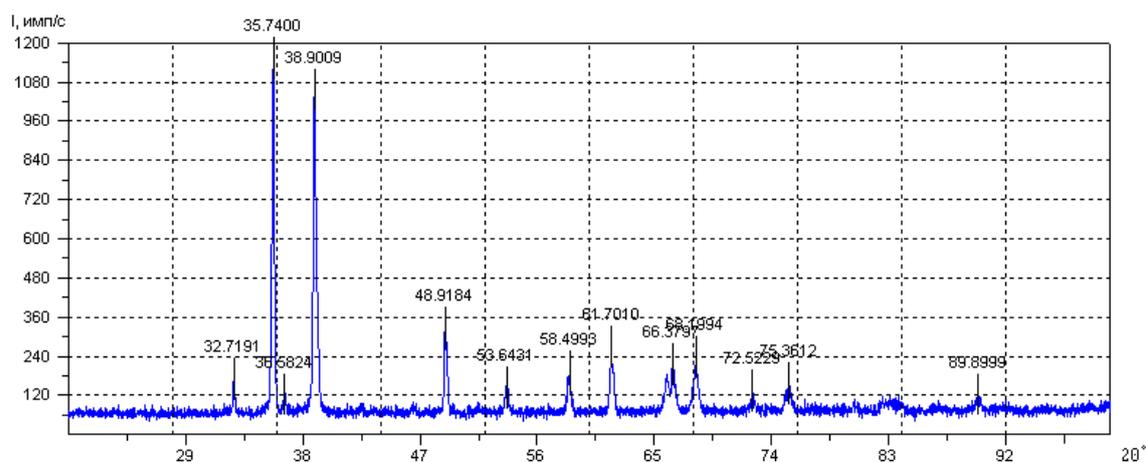


a)

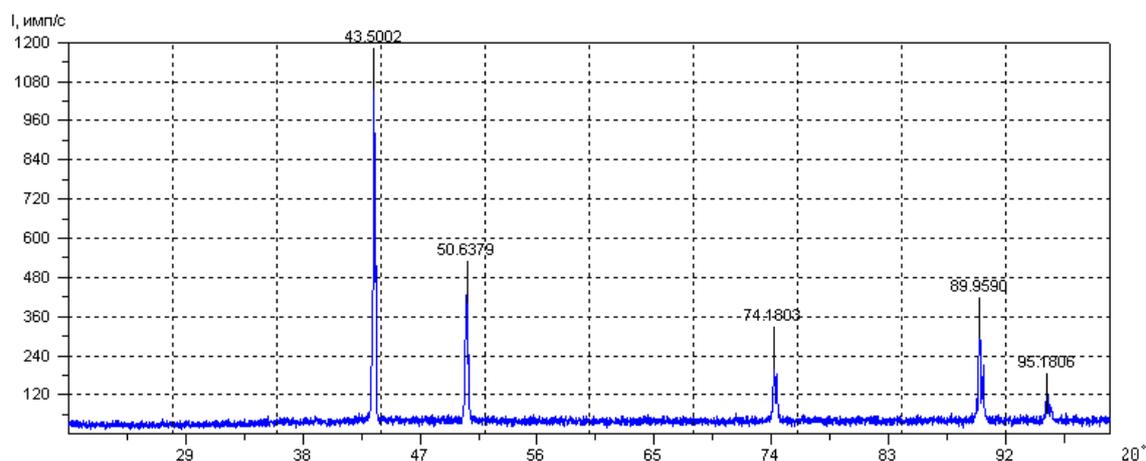
b)

Рис. 1. РЭМ-изображения наночастиц восстановленного германия, сформированных на основе  $\text{GeO}_2:\text{SiO}_2$ -матриц, прошедших структурирующую обработку в среде водорода при  $T = 600^\circ\text{C}$  и  $T = 800^\circ\text{C}$  в течение 1 ч (на 1 часть  $\text{GeO}_2$  приходилось 25 частей аэросила)

Относительно низкие температуры восстановления оксида меди и германия (согласно данным, полученным методами РФА и РЭМ), а также возможность формирования отдельных микро- и наночастиц  $\text{Ge}^0$ , позволяют предложить механизм образования микрорезонаторов состава «ядро–оболочка», где ядром служит полупроводниковое соединение (в нашем случае восстановленный германий), а оболочкой – термически испаренная и осажденная на поверхность предварительно сформированных микро- и наночастиц восстановленная медь. Комплексное изучение изменения морфологии и стехиометрии сформированных материалов (под действием структурирующей термообработки в среде водорода) позволяет сделать предположение о том, что для таких сред возможно создать условие нелинейно-оптической «накачки» полупроводниковой микро- или наночастицы через эффект поверхностного плазмонного резонанса, что позволит использовать сформированные материалы в качестве активных сред при создании сенсорных элементов с высокой избирательной чувствительностью. Отдельно можно отметить, что таблетированные композиционные материалы разработанного состава могут быть применены для получения наноразмерных 2D (тонкопленочных) или 3D (сферообразных) сенсоров или газовых детекторов со стабильными по времени и воспроизводимыми функциональными характеристиками. Существующая возможность по управлению фазовым или элементным составом формируемых на их основе активных слоев позволяет на основе одной технологии (комбинирования золь-гель метода и нанотехнологических приемов) получать изделия с расширенными эксплуатационными характеристиками (в виде рабочих элементов для опто- и наноэлектроники).



а)



б)

Рис. 2. Преобразование двухвалентного оксида меди (а) в восстановленную медь (б) при отжиге в водороде в течение 1 ч на  $T = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таким образом, в результате проведенных исследований показана возможность формирования композиционных таблетированных материалов на основе высококремнеземных матриц, содержащих наночастицы восстановленного германия или трехкомпонентных систем состава  $\text{SiO}_2\text{:Ge}^0\text{:Cu}^0(\text{CuO})$ . Изучен характер «сборки» наночастиц восстановленного германия в микро- и наносферы по глубине таблетированного композиционного материала, получаемого методом одноосного прессования. Определены режимы частичного превращения оксида металла в его восстановленную форму (на примере двухвалентного оксида меди). Установлены условия управления процессом преобразования оксида меди  $\text{Cu(II)}$  в восстановленную медь ( $\text{Cu}^0$ ) – в зависимости от режима его термообработки в среде водорода.