

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАНОКОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ДАТЧИКОВ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Петр ГАШИН, Владимир ПРИЛЕПОВ, Дорин СПОЯЛЭ***

НИЛ физики полупроводников

**НИЛ фототермопластической записи*

***НИЛ сверхпроводимости и магнетизма*

În prezenta lucrare sunt cercetate materialele nanocompozite pe baza metalelor greu fuzibile și a oxizilor lor. Proprietățile funcționale determinate permit utilizarea acestor materiale la crearea senzorilor cu destinație specială.

In the presented paper the electro-physical properties of nanocomposite thin films on the basis of V, Cr and their oxides are investigated. The possibility to use nanocomposite materials in sensor electronics is considered.

В настоящее время происходит непрерывный процесс усложнения функций, выполняемых электронной аппаратурой, количество элементов которой резко возрастает. Возникает потребность в создании и использовании многофункциональных сред, которые обеспечивали бы адекватное отображение требуемой функции с помощью возникающих в материале физических явлений.

Известно [1], что наноконкомпозитные системы типа металл-диэлектрик (Ме-Ди) могут вести себя и как изолятор, и как проводник. Если предположить объемную концентрацию металла, равную p , то при некоторой концентрации металла p_c система испытывает переход диэлектрик-металл (протекание, перколяция, активация), и суммарная проводимость смеси (σ_Σ) изменяется по закону $\sigma_\Sigma = \sigma_m(p-p_c)^t$, где σ_m – проводимость металла, t – некоторый индекс. Универсальность параметра t экспериментально хорошо согласуется с теоретическими вычислениями и для различных структур расположена в пределах 0,8-1,7 [2]. Вблизи порога протекания структура характеризуется аномальным поведением проводимости в зависимости от внешнего воздействия: давления, влажности, температуры и т. д. Наличие тонких связей между проводящими кластерами вблизи порога протекания делают наноконкомпозит Ме-Ди чувствительным к внешним воздействиям. В этой связи особый интерес представляют наноконкомпозитные системы типа металл-диэлектрик (Ме-Ди), связанные размерными эффектами. Соотношение концентраций диэлектрической ($N_{Ди}$) и металлической ($N_{Ме}$) составляющих в материале определяет номинал сопротивления тонкопленочного резистора, механизмы проводимости, величину и знак ТКС.

Наноконкомпозитный материал представляет собой диэлектрическую матрицу с равномерно распределенными в ней проводящими наночастицами с суммарной толщиной слоя 40-60 нм. Исходными материалами являются тугоплавкие металлы и их окислы. Низкоэнергетические процессы получения и выбранные условия формирования наноконкомпозитных структур обуславливают высокую временную стабильность электрофизических параметров слоев и их управляемость.

При изучении слоев на основе ванадия и его окислов наблюдается существенная разница в величине продольного и поперечного сопротивлений. В продольном направлении ($N_{Ди} > N_{Ме}$) получаем $R = 10^6 \div 10^8$ Ом/□, а в поперечном направлении ($N_{Ди} < N_{Ме}$) $R = \leq 1,5-3,0$ Ом. ТКС положителен. Термочувствительность резистивных пленок в продольном направлении в интервале 293-440К составляет -2400К. В поперечном направлении те же слои в области температур 403-413К переходят из проводящего состояния в непроводящее и при снижении температуры полностью воспроизводят ВАХ системы.

Наблюдаемый фазовый переход второго рода [3] определяется размерными эффектами пленки: соотношением толщины слоя, размерами проводящих наночастиц и площадью контакта. Фазовый переход не наблюдается при площади контакта, большей $1,5 \text{ мм}^2$, а при контакте с площадью, меньшей $0,25 \text{ мм}^2$, более точно устанавливается критическая температура перехода. Температуру фазового перехода можно изменять как условиями формирования структур, так и допированием пленок малой концентрацией Ме, т.е. изменением состава и величины $N_{Ди}$ и $N_{Ме}$. Таким образом, на данном материале может быть реализован датчик фиксированной температуры и реле отключения при достижении заданной температуры.

Тонкие пленки на основе хрома и его окислов обладают выраженной точкой перколяции, обуславливающей смену знака ТКС в зависимости от режимов обработки. Наличие минимального ТКС $\sim 10^{-6}$ град $^{-1}$ (рис.1) позволяет использовать данный материал в тензометрии, поскольку отпадает необходимость в термокомпенсации как измеряемого сопротивления, так и термочувствительности. Тензочувствительность нанокompозитных структур оценивалась балочным методом в предположении, что отклонение подвижного конца балки $\delta(0)$ пропорционально приложенной силе F , а изменение сопротивления тензорезистора $\Delta R/R$ пропорционально относительной деформации $\varepsilon = \Delta l/l$, т.е. $\Delta R/R = k\varepsilon$ (рис.2).

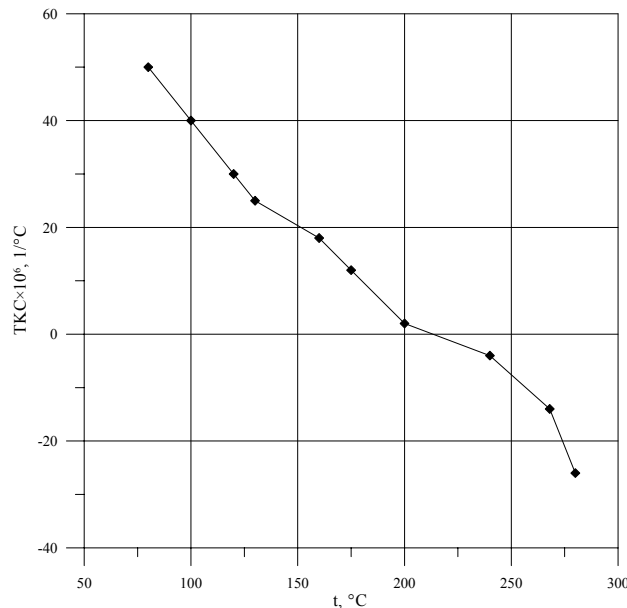


Рис.1. Изменение ТКС структуры в зависимости от температуры обработки.

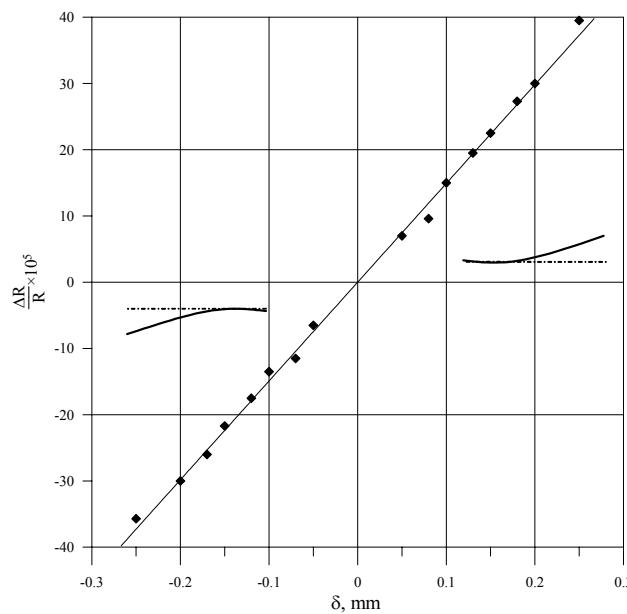


Рис.2. Изменение относительного сопротивления $\frac{\Delta R}{R}$ в зависимости от δ .

Полученные значения тензочувствительности в 2,5 раза выше, чем у промышленных тензодатчиков на основе нихрома. Данные слои были использованы для изготовления датчиков касания с тензометрическим эффектом [4]. В предлагаемой конструкции между нагрузочным контактом и поверхностью резистивной пленки введен дополнительный потенциал. В момент контакта небольшое на-

пряжение U распределяется на малых толщинах зазора, что приводит к изменению сопротивления за счет сильного поля, т.е. практически не нарушается совместимость с измерительным устройством. Верхний контакт можно связать с мембраной или концентратором, расширяя диапазон измерений.

Функциональные свойства нанокompозитных пленок обусловлены малыми размерами проводящих кластеров, наличием диэлектрической прослойки между ними и квантованием заряда. В определенных условиях проводимость наночастиц будет обуславливаться надбарьерным тепловым потоком электронов между наночастицами, т.е. система из двух металлических кластеров образует не туннельный контакт, а обычный конденсатор. В этом случае дифференциальная ёмкость двух проводящих кластеров осциллирует или имеет резонансный характер, подобно поведению ёмкости отдельных гранул, внедренных в изолирующий слой туннельного перехода [5].

На исследованных нанокompозитных структурах нами наблюдалось увеличение зарядового состояния от приложенного электрического поля, что приводит к “прыжковому” увеличению электрического тока через образец (рис.3).

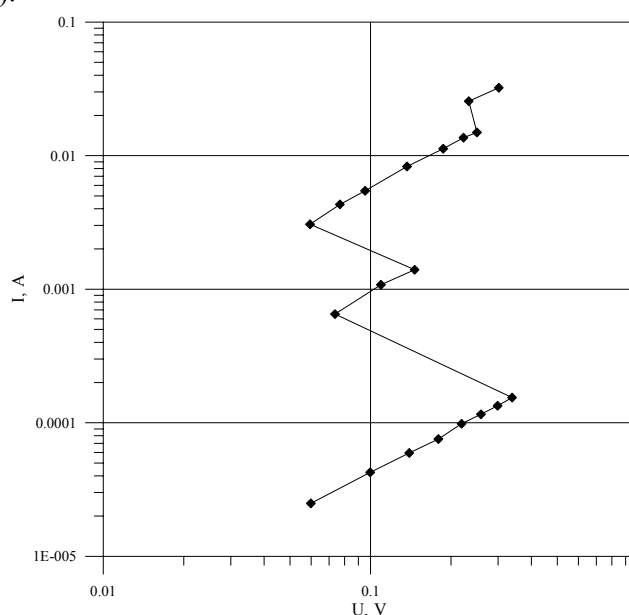


Рис.3. ВАХ нанокompозитных материалов на основе ванадия и его окислов.

Резонансный характер осциллирующих проводящих кластеров наблюдался нами при воздействии на кровь человека [6]. При прикладывании нанодисперсного слоя к пальцу на 3-5 минут последующий анализ крови на диффузном микроскопе показывает увеличение скорости движения эритроцитов примерно на порядок, при этом происходит их расклеивание. В заключение следует отметить, что любой датчик определяется целевым назначением, конструктивными и эксплуатационными особенностями, требованиями отраслевого характера, а предлагаемые функциональные материалы могут быть использованы в качестве чувствительных элементов, обеспечивающих улучшение параметров приборов и придание им новых, порой непредсказуемых возможностей.

Литература:

1. Cheriet L. et. al. Metal-insulator transition in thin nickel films // Phys. Rev. B. – 1989. – Vol. 39. – No14. – P.9828-9830.
2. Gadenne M., Gadenne P. Electrical and optical properties of Au-Al₂O₃ films, dimensionality effects // Phys. A. – 1989. – Vol. 157. – P. 344-351.
3. Прилепов В. О фазовом переходе в тонкопленочной структуре металл-диэлектрик на основе ванадия // Analele Științifice ale USM. Seria „Științe fizico-matematice”. – Chișinău, 2001, p. 162-164.
4. Prilepov V., Sergentu V. Датчик касания со свойствами тензоэлемента // Tezele Conferinței Corpului didactico-științific al Universității de Stat din Moldova. – Chișinău, 1995, p.93.
5. Медведев Ю., Гришин А. Зарядовое состояние проводящих мелкодисперсных систем в диэлектрической матрице // ФТТ. – 2001. – Том 43. – Вып. 5. – С. 900-905.
6. Prilepov V., Spoiala D. Nanostructured Dispersed Films in Biomedicine for Human Heals // The 4-th Intern. Conf. on Microelectronics and Computer Science. Chisinau, 15-16 september, 2005. – Chișinău, 2005, p. 276-279.

Prezentat la 04.10.2007