Управление формовкой и проводимостью TaN/ZrO_x/Ni мемристоров посредством обеднения кислородом слоя оксида

Воронковский В.А.¹, Алиев В.Ш.^{1,2}, Герасимова А.К.¹, Бадмаева И.А.¹

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² НГТУ, 630073, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

DOI 10.34077/Semicond2019-440

Мемристоры представляют собой структуру металл-диэлектрик-металл с двумя и более устойчивыми энергонезависимыми состояниями, отличающимися по сопротивлению. Основным их недостатком является необходимость формовки, поскольку напряжение формовки может в разы превышать напряжения последующих переключений, что создаёт проблемы для организации больших массивов памяти.

Методом РФЭС были изучены плёнки ZrO_x, выращенные методом ионно-лучевого распыления-осаждения (IBSD) на Si(100) подложках при различных парциальных давлениях кислорода (P_{O_2}). Проведённый анализ спектров показал, что, в зависимости от P_{O_2} , плёнки ZrO_x могли содержать три фазы: металлическую (Zr), суб-оксид циркония и стехиометричный оксид ZrO₂. По отношению площадей пиков Zr 3d и O 1s была произведена оценка величины $[O]/[Zr]$ (x) для всех плёнок, что позволило установить зависимость между величиной x и P_{O_2} (Рис. 1). Были исследованы электрофизические свойства ряда образцов с TaN/ZrO_x(30 нм)/Ni мемристорами, слой оксида которых также выращивался методом IBSD при различных P_{O_2} . По зависимости x от P_{O_2} была произведена оценка x для всех образцов с мемристорами (Рис. 1). По измеренным ВАХ установлено, что мемристоры демонстрируют резистивное переключение, если $x \geq 1.78$. Для образцов с $1.99 \geq x \geq 1.97$ напряжение формовки было ниже напряжения переключения и снижалось с уменьшением x . В диапазоне $x \leq 1.96$

Рис. 1. — Зависимость коэффициента x от P_{O_2} для образцов Si/ZrO_x (точки). Символами показаны точки на этой зависимости, соответствующие мемристорам TaN/ZrO_x/Ni.

Рис. 2. — (а) и (б) Сравнение циклов резистивного переключения TaN/ZrO_x/Ni мемристоров с различным содержанием O₂ ($x = 1.99, 1.97, 1.96, 1.78$). Экспериментальные (точки) и модельные (линии) ВАХ TaN/ZrO_{1.97}/Ni мемристора в СНС (в) и СВС (г) для различных температур.

у мемристоров формовка отсутствовала. ВАХ низкоомного и высокоомного состояний (СНС и СВС, соответственно) для всех образцов были качественно одинаковыми, за исключением образцов с x вблизи 1.78, у которых наклон ВАХ в СВС был выше (Рис. 2(а) и (б)). Отношение токов в обоих состояниях уменьшалось по мере снижения x и составляло от 1 до 6 порядков. Исследованы температурные зависимости ВАХ мемристоров TaN/ZrO_x/Ni для СВС и СНС в диапазоне температур от 250 до 400 К. Проводимость мемристора увеличивалась с ростом температуры как в СВС, так и СНС (Рис. 2(в) и (г)). Моделирование ВАХ показало, что они хорошо описываются в рамках модели тока, ограниченного пространственным зарядом (ТОПЗ) в режиме полностью заполненных ловушек для СНС и режиме, ограниченном ловушками, для СВС (Рис. 2(в) и (г)).