

ЭЛЕКТРОДНАЯ СТРУКТУРА НА БАЗЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ ПЛАНАРНОГО МИКРОСУПЕРКОНДЕНСАТОРА

Кукуть Ю.М.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Лабунев В.А. – академик НАН Беларуси,
д-р техн. наук, профессор

В данной работе разработана технология формирования электродной структуры на базе локализованных массивов углеродных нанотрубок (УНТ) для планарного микросуперконденсатора. Технология основана на взрывной фотолитографии и химическом парофазном осаждении УНТ с комбинированным катализатором. Применение комбинированного катализатора никель-ферроцен позволило достичь толщины пористых электродов 370 нм и минимизировать сопротивление коллектора тока.

Одной из основных тенденций развития электронной промышленности является миниатюризация и повышение степени интеграции элементов на кристалле. В рамках повышения степени интеграции существует потребность в миниатюризации источников питания и миниатюрных накопителей энергии. В последнее десятилетие в качестве миниатюрных накопителей энергии большой интерес представляет суперконденсатор. По плотности мощности и плотности энергии суперконденсаторы занимают промежуточное положение между электролитическими конденсаторами и электрическими аккумуляторами. Для суперконденсаторов характерны длительный срок службы, высокая скорость зарядки-разрядки, а соответственно более высокая плотность мощности, по сравнению с электрическими аккумуляторами [1]. Традиционные суперконденсаторы представляют собой слоистую структуру, состоящую из двух пористых электродов, как правило изготовленных из активированного угля, пропитанных электролитом и разделенных между собой диэлектрической пористой мембраной, проницаемой для ионов электролита. Механизм накопления энергии в суперконденсаторе заключается в формировании двойного электрического слоя на границе раздела твердое тело/электролит.

Технологии микроэлектроники позволяют изготавливать микросуперконденсаторы в планарном исполнении по тонко- либо толстопленочной технологии. Самая распространенная конструкция планарных микросуперконденсаторов основана на встречно-штыревой структуре, из-за чего больше не требуется мембрана, так как электроды физически разнесены друг от друга [2]. Встречно-штыревая структура (коллектор тока) служит в качестве токоподвода для пористых электродов, сформированных на ее поверхности. В данной работе использована встречно-штыревая структура, сформированная из никеля, так как он может быть использован в качестве катализатора для роста УНТ.

Изготовление электродной структуры микросуперконденсатора выполнено в два этапа: 1) изготовление встречно-штыревой структуры на кремниевых подложках с термическим окислом толщиной 0,5 мкм при помощи технологии контактной взрывной фотолитографии (рисунок 1). В качестве маскирующего слоя использован сухой негативный пленочный фоторезист Ordyl Alpha 350 применяющийся для изготовления печатных плат и МЭМС-компонентов.

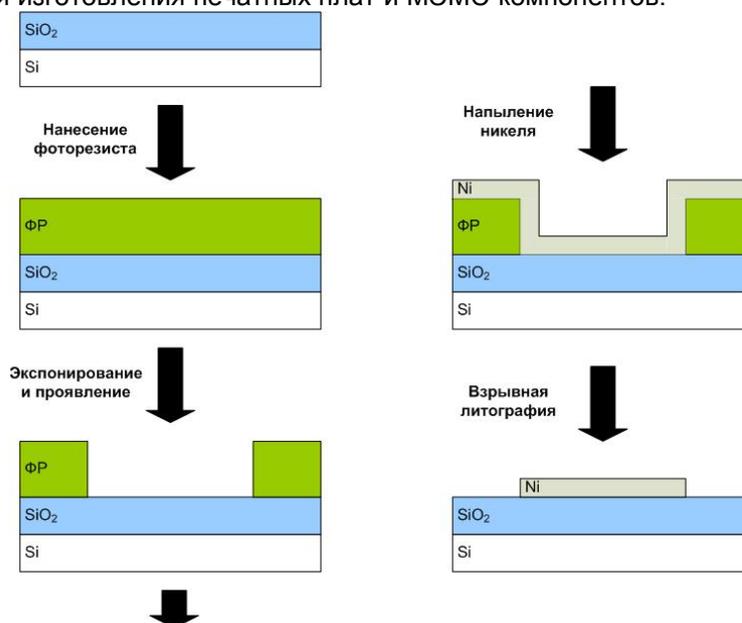


Рисунок 1 – Последовательность операций взрывной контактной фотолитографии

2) селективное осаждения локализованных массивов углеродных нанотрубок на поверхности изготовленной встречно-штыревой структуры (рисунок 2) методом химического парового осаждения при атмосферном давлении. Процесс синтеза проводился в трубчатом кварцевом реакторе с внутренним диаметром 14 мм в среде аргона (80 см³/мин) и водорода (80 см³/мин) при температуре 760°C. В качестве прекурсора (источника углерода) использовался декан, содержащий 0,1% (масс.) ферроцена (инжектированный катализатор). Время синтеза 15 минут, скорость инъекции 0,2 см³/мин.

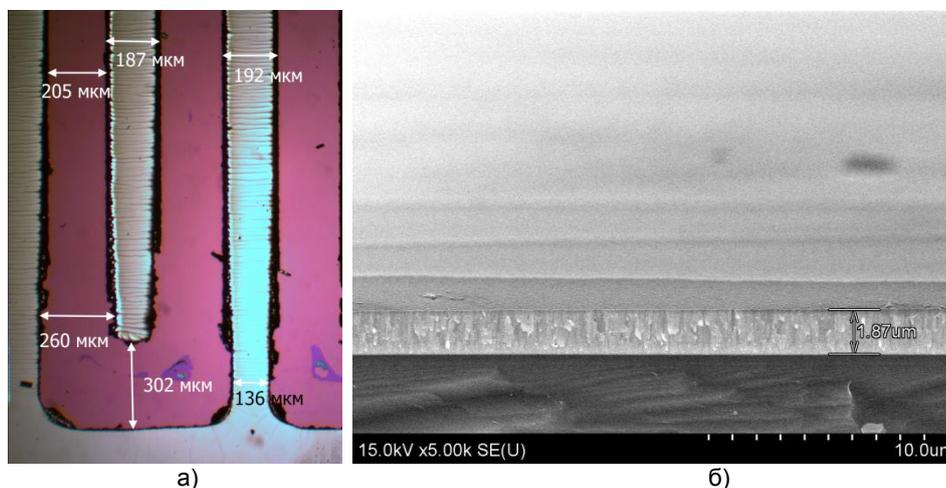


Рисунок 2 – Встречно-штыревая структура а) фотография участка встречно-штыревой структуры; б) снимок РЭМ поперечного сечения слоя никеля

Морфология массивов углеродных нанотрубок полученных на встречно-штыревой структуре представляет собой плотные жгуты, собранные в пучки, достигающие 370 мкм в высоту (рисунок 3). Комбинированный катализатор позволил получить массивы УНТ на относительно толстом слое никеля за счет своей высокой каталитической активности при сохранении высокой селективности роста массива УНТ.

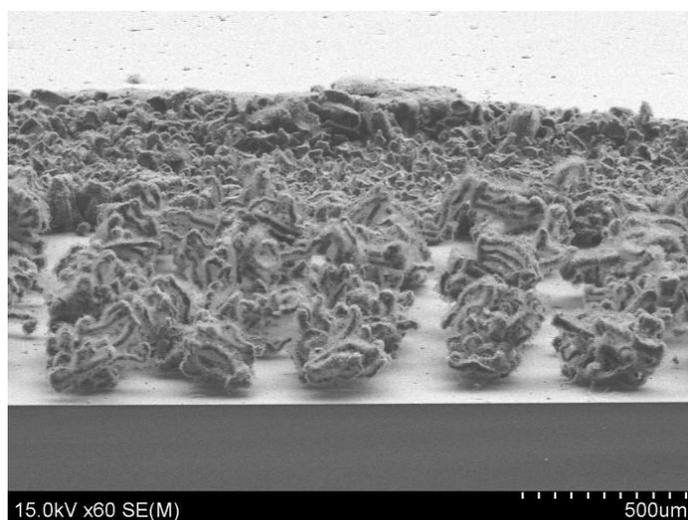


Рисунок 3 – Снимок РЭМ электродной структуры на базе углеродных нанотрубок

Особенностями разработанной технологии является использование относительно толстого слоя никеля, позволяющего минимизировать сопротивление токоподвода, а также применение комбинированного катализатора роста УНТ, позволяющего достичь толщины пористых электродов 370 мкм. Увеличение толщины электродов планарного микросуперконденсатора позволяет увеличить поверхность, контактирующую с электролитом, что ведет к росту удельной емкости (Ф/см²).

Список использованных источников:

1. Wang J. et al. Recent progress in micro-supercapacitor design, integration, and functionalization //Small Methods. – 2019. – Т. 3. – №. 8. – С. 1800367.
2. Lethien C., Le Bideau J., Brousse T. Challenges and prospects of 3D micro-supercapacitors for powering the internet of things //Energy & Environmental Science. – 2019. – Т. 12. – №. 1. – С. 96-115.