

Изменение направления передачи сигнала с входной линии, расположенной на рисунке 6 вертикально, в одну из выходных, изображенных горизонтально, осуществляется изменение полярности управляющего напряжения. Это напряжение подается через токоограничивающий резистор в центр нижнего по рисунку четвертьволнового сектора. При испытаниях были получены следующие характеристики: Максимальные потери сигнальной мощности в диапазоне частот 4–6 ГГц – 0,5 дБ; полоса рабочих частот, определяемая по уровню развязки – 30 дБ – 4–5,6 ГГц.

Основным достоинством предлагаемого СВЧ ключа является его планарность – отсутствие отверстий в подложке и хорошие величины развязки и потерь сигнальной мощности. Полученные значения широкополосности (36%) не поражают воображение, в отличие от изделий указанных в [1, 2], но всегда удовлетворяют требованиям задач, возникающих на практике.

Поскольку емкостная проводимость полупроводникового элемента в данном ключе компенсируется, нет необходимости в ее минимизации. Это позволяет изготовителям п/п приборов оптимизировать их для различных частотных диапазонов по критериям минимизации потерь сигнальной мощности или достижения заданной полосы развязки СВЧ переключателей.

### Литература

1. Белов Л. Переключатели сверхвысокочастотных сигналов // Электроника: наука, технология, бизнес. 2006. – № 1. – С. 20–25.
2. Devlin Liam. The Design of Integrated Switches and Phase Shifters // Proceedings of the IEE Tutorial Colloq. on «Design of RFICs and MMICs». Seattle, Washington, 1999. – P.1–9.

**С.В. Перко, В.И. Грицков, В.В. Амбражей** (БГУИР, Минск)

Науч. рук. **С.К. Лазарук**, д-р физ.-мат. наук, профессор

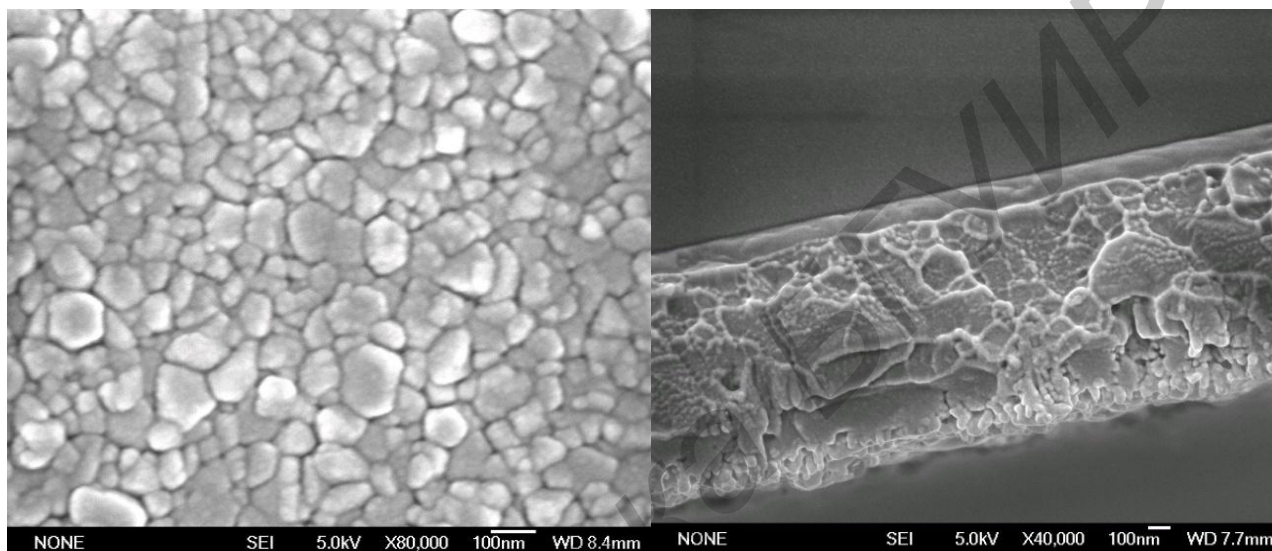
### **ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОК ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ**

Разработан метод для формирования пористых наноструктурированных покрытий тугоплавких металлов.

Метод основан на совместном магнетронном распылении алюминия и тугоплавкого металла ряда Ti, W, Nb и др. Растворимость алюминия и тугоплавких металлов между собой ограничена, поэтому при охлаждении осажденных пленок наблюдается сегрегация атомов алюминия и

тугоплавкого металла. Следовательно, осажденные пленки являются композитными по своей структуре. Для того чтобы отделить атомы алюминия от атомов тугоплавкого металла использовалось селективное химическое травление, при котором атомы тугоплавкого металла, оставаясь на своих местах, формируют разветвленную пористую структуру.

Исследования проводились на основе тугоплавкого металла Ti. На рисунке 1 показаны микрофотографии композитной пленки алюминий - титан. Пленки состоят из зерен двух типов больших с размерами 50–200 нм и малых 5–20 нм.



а)

б)

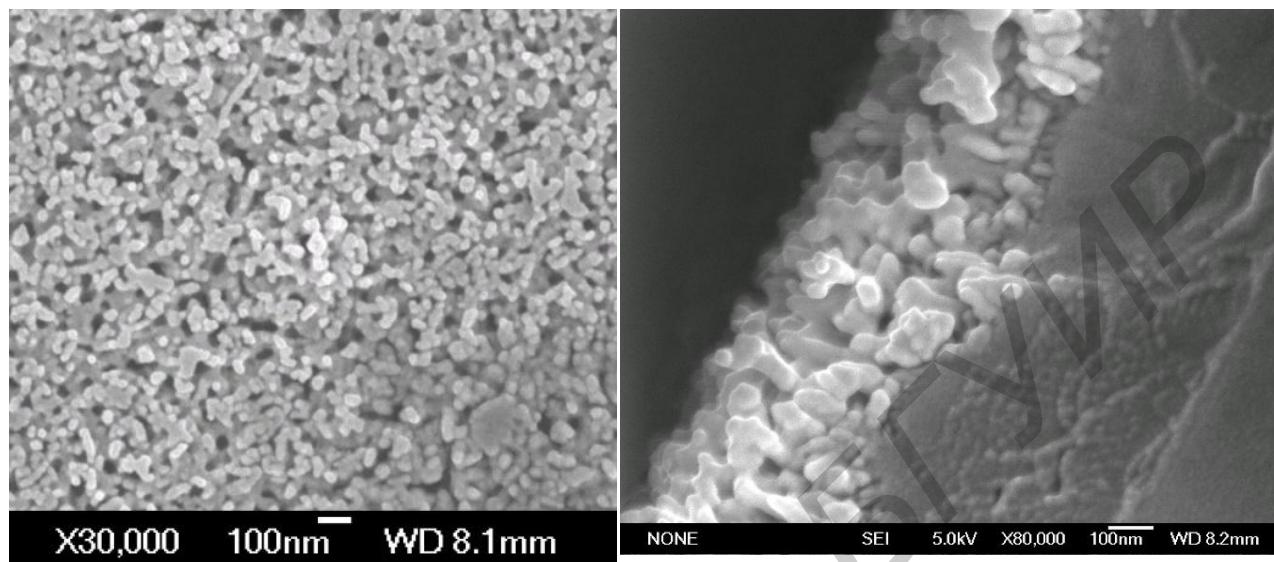
а – поверхность алюминиево-титановой пленки;

б - поперечное сечение алюминиево-титановой пленки;

Рисунок 1 – Микрофотографии композитной пленки алюминий – титан

Первый тип зерен типичен для магнетронно осаждаемых алюминиевых пленок, в то время как второй тип зерен наблюдается в магнетронно осаждаемых пленках тугоплавких металлов. Рентгеноспектральный анализ алюминиево-титановых пленок на границе больших зерен и внутри них показал повышенное содержание алюминиевых атомов на границе, в то время как повышенное содержание титановых атомов наблюдается внутри зерен. Похожая картина имеет место и в случае малых зерен. Проведенные исследования позволяют предложить механизм образования композитных пленок алюминий – тугоплавкий металл. Магнетронно распыляемые атомы алюминия и тугоплавкого металла достигают поверхности подложки равномерно. Из-за разной температуры перехода в твердое состояние вначале конденсируются атомы тугоплавкого металла. Имея более высокий атомный вес, атомы тугоплавкого металла выталкивают атомы алюминия к границам зерен, что и обеспечивает сегрегацию атомов двух металлов. Отметим, что полного

разделения атомов не происходит, а лишь наблюдаются области внутри зерен, обогащенные атомами тугоплавкого металла, и области на границах зерен, обогащенные атомами алюминия. Учитывая то, что размеры зерен находятся в нанометровом диапазоне, такие пленки можно отнести к нанокompозитным.



а) б)  
а – поверхность пористого титана;  
б – поперечное сечение пористого титана

Рисунок 2 – Микрофотографии пористых структур, полученных химическим травлением алюминия в нанокompозитных пленках алюминий – титан

На рисунке 2а представлены микрофотография пористой структуры на основе тугоплавких металла Ti, полученная химическим травлением алюминия в нанокompозитных пленках. Как видно из снимка «скелет» тугоплавкого металла представляет собой губкообразную сеть, напоминающую структуру пористого кремния р-типа проводимости.

На рисунке 2б представлены микрофотографии высокого разрешения поперечного сечения алюминиево-титановых пленок после вытравливания алюминия.

При термических обработках 400–500 С в среде, содержащей кислород, пористая структура тугоплавких металлов полностью окисляется, образуя пористый оксид.

Пленки наноструктурированных тугоплавких металлов ряда Ti, W, Ta могут быть использованы в качестве анодов литий-ионных аккумуляторов, а пленки пористого тантала перспективны для их использования в качестве покрытий имплантатов в медицине.