

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК ТАНТАЛА
С ПОВЕРХНОСТНЫМ УДЕЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ
БОЛЬШЕ 1000 ом/кв**

А. М. Корнев, В. П. Николаев, Л. Д. Слюсар

Киев

Получение пленок тантала с высоким удельным поверхностным сопротивлением не может быть обеспечено путем уменьшения толщины пленки. При уменьшении толщины ниже 100Å , т. е. в той области, где пленкам присущи высокие удельные поверхностные сопротивления, сложно достигнуть воспроизводимости пленок с одинаковыми параметрами.

Предлагается метод получения пленок тантала с высоким удельным поверхностным сопротивлением, основанный на процессе термического окисления. Контролируя величину окисления, можно получать пленки тантала, удельное сопротивление которых лежит в широком диапазоне, вплоть до значений, присущих окисным пленкам.

С этой целью было проведено исследование пленок, полученных в вакууме при помощи электронно-лучевого испарения тантала.

Изучалось изменение электрических параметров пленок тантала, имеющих начальное удельное поверхностное сопротивление порядка 30 ом/кв , не покрытых защитным слоем. Пленки с таким удельным поверхностным сопротивлением выбраны в связи с тем, что ТКС их близок к нулю. Это явилось своего рода одним из граничных условий, обеспечивающих однозначность условий при проведении всей экспериментальной работы.

На рис. 1 представлена зависимость изменения величины удельного поверхностного сопротивления пленок тантала от времени окисления при температурах подложки: 400°C , 300°C , 250°C . Из графиков видно, что скорость окисления при разных температурах различна и растет с повышением температуры.

Механизм окисления при разных температурах, по-видимому, один и тот же, только в зависимости от температуры, при которой происходит процесс окисления, он занимает различное время. При температуре 250°C удельное поверхностное сопротивление растет медленно, за 300 мин окисления величина его возросла примерно в 1,5 раза. Ход кривой в этом случае напоминает логарифмическую зависимость.

При температуре 300°C величина удельного поверхностного сопротивления за то же время возросла почти в 15 раз. При этом до области значений $\rho = 85 - 95 \text{ ом/кв}$ ход кривой вновь напоминает логарифмическую зависимость, а выше, очевидно, подчиняется линейному закону.

При 400°C величина ρ всего за 15 мин возросла в 150 раз. В этом случае кривую зависимости $\rho = f(t_{\text{окисл}})$ можно разбить условно на три области.

В первой области до значений $\rho = 85 \div 95 \text{ ом/кв}$ кривая напоминает логарифмическую зависимость. Вторая область может быть ограничена значением $\rho = 300 \text{ ом/кв}$. Здесь зависимость $\rho = f(t_{\text{окисл}})$ приблизительно верно может быть описана линейным законом.

Выше значений $\rho = 300 \text{ ом/кв}$ лежит третья область, в которой ход кривой может быть описан экспоненциальным законом. Таким образом, окислительные процессы, идущие при температурах 250 и 300°C , имеют место и в случае прогрева подложки до 400°C , но протекают они за более короткое время. Вполне возможно, что при температуре 250°C можно получить те же три области окисления, но за более длительное время.

Если исходить из предположения, что окисление пленок тантала, которые обладают дисперсной структурой, происходит по границам зерен, то полученные данные можно интерпретировать следующим образом.

Участок кривой первой области (рис. 1, $T = 400^\circ\text{C}$) соответствует диффузии атомов кислорода на всю глубину пленки и только частично окислению поверхностных атомов зерен тантала. С повышением температуры этот процесс протекает более интенсивно.

Окислению внешнего атомного слоя зерен на графике должен соот-

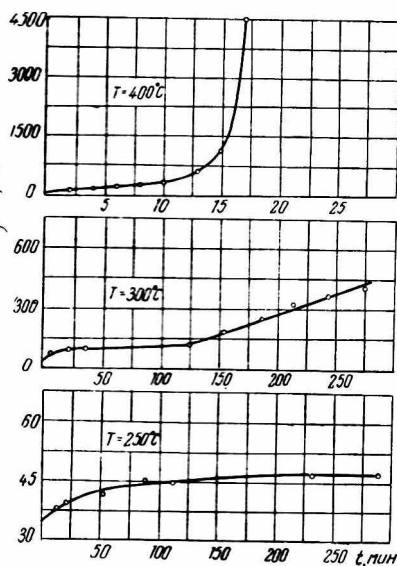


Рис. 1.

ветствовать участок кривой второй области. Окислению зерен тантала в глубину, по-видимому, соответствует третья область на кривой.

Эти особенности процесса окисления пленок тантала при различных температурах следует учитывать при разработке технологии получения резистивных пленок методом глубокого термического окисления.

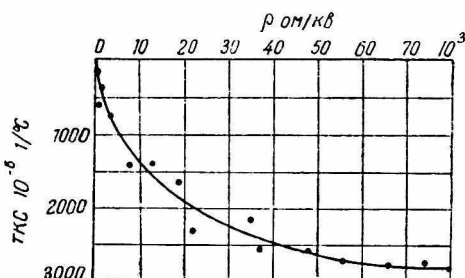


Рис. 2.

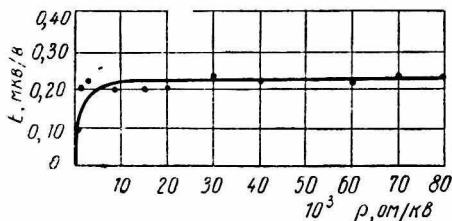


Рис. 3.

Ниже приведен ряд зависимостей электрических параметров тонких пленок тантала, подвергшихся окислению, от величины поверхностного удельного сопротивления.

На рис. 2 представлена зависимость ТКС от величины удельного поверхностного сопротивления. Абсолютное значение величины ТКС по мере увеличения окисления пленки возрастает. При значении $\rho = 80\,000 \text{ ом/кв}$ она достигает примерно $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$. Это на порядок больше, чем для пленок тантала с $\rho = 100, 300, 1000 \text{ ом/кв}$. Во всем исследуемом диапазоне ТКС имеет только отрицательные значения.

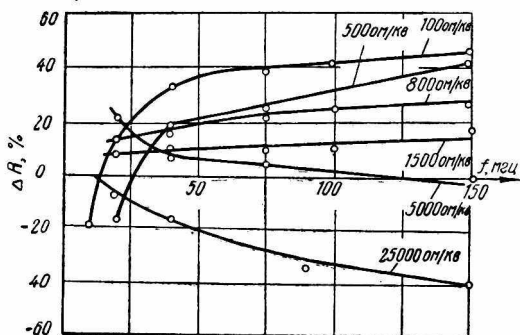


Рис. 4.

При определении электродвижущей силы шумов было замечено, что э. д. с. собственных шумов этих пленок (рис. 3) достигает своего максимального значения $0,25 \text{ мкв/г}$ в области, примерно, 500 ом/кв и остается почти неизменной при дальнейшем окислении вплоть до значений удельного поверхностного сопротивления, равного $80\,000 \text{ ом/кв}$.

Интерес представляют частотные характеристики окисленных пленок тантала (рис. 4). По мере роста степени окисления реактивная составляющая сопротивления пленок меняет свой характер от индуктивной до емкостной. Благодаря этому при определенных значениях удельного сопротивления можно получить тонкопленочные резисторы, сопротивление которых мало зависит от частоты.

При проведении термоциклирования относительное изменение величины сопротивления ΔR колеблется от нуля до $-0,8\%$. Для отдельных образцов величина ΔR при окислении не остается постоянной. Было установлено, что полученные для отдельных образцов относительно большие значения ΔR (до $-0,8\%$), а также изменение величины ΔR в процессе окисления объясняется изменениями, происходящими на переходах пленок тантала и проводящих слоев (в нашем случае пленок алюминия).

Двухстороннее контактирование по системе слой проводника + резистивный слой + слой проводника должно улучшить надежность контактных переходов.

При проверке резисторов постоянной электрической нагрузкой определены значения прикладываемого напряжения, за пределами которого наступают необратимые изменения сопротивлений резисторов. На рис. 5 представлены эти значения для различных удельных поверхностных сопротивлений. Из графика видно, что по мере увеличения степени окисления пленок величина напряжения растет, значительно превосходя при этом значения напряжений, обычно применяемые в микроэлектронике.

В заключение можно сказать, что метод термического окисления пленок тантала, обладающих первоначальным удельным поверхностным сопротивлением порядка 30 ом/кв , можно широко применять в микроэлектронике для создания высокоомных пленочных резисторов.

Полученные этим методом пленки обладают стабильными электрическими параметрами. Существенный их недостаток — относительно высокое (порядка $10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$) значение температурного коэффициента сопротивления.

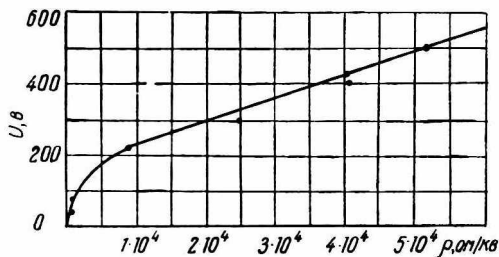


Рис. 5.