

УДК 621.315.6.015.5

О ВЛИЯНИИ МАТЕРИАЛА ЭЛЕКТРОДОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

З.Ф. Воробей, В.А. Лабунов, Е.М. Косаревич, С.Н. Кураева

Одним из основных недостатков ТПК является низкая электрическая прочность, которая определяется выбором материалов диэлектрического слоя и электродов. [1].

Теоретически показано [2], что пробивное напряжение должно возрастать с увеличением работы выхода материала электрода, однако, как показывает эксперимент [3,4,5], отсутствует корреляция между работой выхода материала электрода и напряжением пробоя.

Основными причинами снижения электрической прочности ТПК считаются дефекты диэлектрических пленок окислов (поры, трещины, различного рода включения) [6,7] или эмиттирующие микровыступы обкладок ТПК [8,9].

В дополнение к перечисленным факторам, влияющим на электрическую прочность ТПК, следует также, по нашему мнению, учесть образование слоев в приэлектродных областях, образующихся в результате окислительно-восстановительных реакций материала диэлектрика с материалом электрода в процессе изготовления, а также при его эксплуатации. Образование подобных слоев приводит к нарушению стехиометрического состава диэлектрика в приэлектродной области и изменению работы выхода материала электрода.

Одним из условий, определяющим возможность протекания окислительно-восстановительных реакций, является большая степень сродства к кислороду материала электрода по сравнению с материалом окисла диэлектрика. Нами были проведены сравнительные исследования электрической прочности ТПК на основе монокристаллического кремния с нижними электродами из алюминия, меди и никеля. Образцы изготавливались нанесением на платиновую подложку трех групп электродов из Al , Cu и Ni . Одновременно на все электроды методом термического испарения наносились диэлектрический слой SiO_2 толщиной 8000 - 10000 Å, затем осаждался верхний электрод из Al и слой защиты из SiO_2 .

Мы считаем, что в этом случае дефекты в самом диэлектрическом слое должны быть одинаковыми и различие электрических свойств можно объяснить явлениями на границе металл-окисел.

Исследование электрической прочности ТПК проводилось на установке и по методике, описанной в работе [10].

Определялось напряжение первого микропробоя $U_{пр}^{\pm}$ (индексы + или - соответствуют полярности нижнего электрода) и число микропробоев, возникших за 2 часа при напряжении $U_{пр}^{\pm}$.

Результаты экспериментов сведены в следующую таблицу:

Тип ТПК	Материалы электродов		Напряжение 1-го микропробоя		Число микропробоев за 2 часа	Сродство к кислороду (ккал/моль) $\Delta G_{298^{\circ}K}$
	нижний	верхний	U^-	U^+		
I	Al	Al	30	30	36	(-258,20)
II	Cu	Al	41	37	9	(-70,0)
III	Ni	Al	47	40	5	(-101,4)
	материал диэлектрика		$SiO_2 - Si$			(-196,9)

Как видно из таблицы, в случае замены нижних алюминиевых электродов медными и никелевыми повышается пробивное напряжение при обеих полярностях нижнего электрода, появляется эффект полярности ($U_{Cu}^- > U_{Cu}^+ ; U_{Ni}^- > U_{Ni}^+$) и уменьшается число пробоев при выдержке образца под напряжением. Полученные результаты можно объяснить различием в степени сродства к кисло-

роду Al , Cu и Ni . Поскольку сродство Al к кислороду значительно выше, чем Si , можно предположить, что при изготовлении и эксплуатации конденсатора возможны окислительно-восстановительные реакции Al с SiO_2 в приэлектродной области диэлектрика.

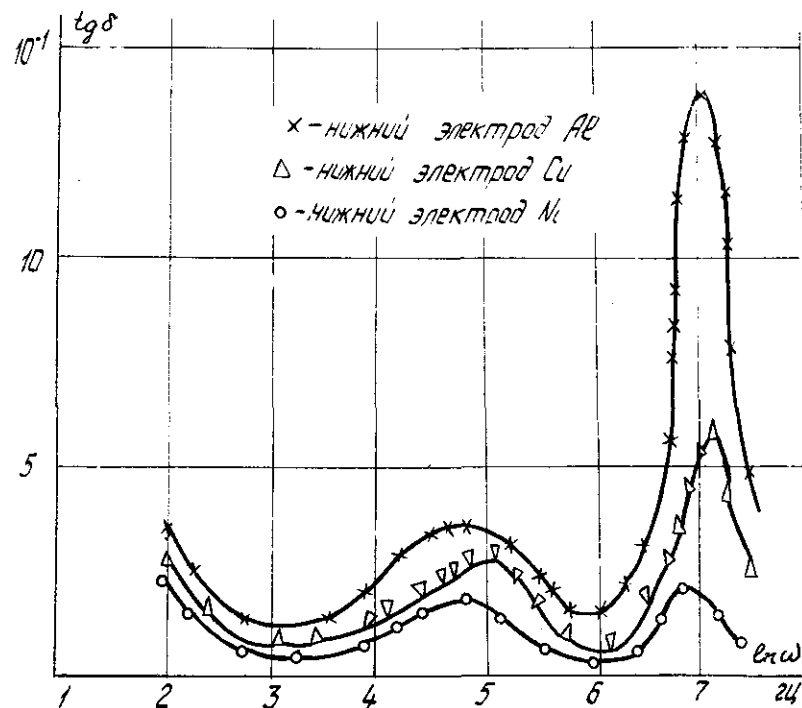
В результате этих реакций образуется слой Al_2O_3 и слой диэлектрика с избытком кремния относительно стехиометрического состава SiO_2 , после чего изменяется работа выхода электродов, а также условия диффузии материала электродов в диэлектрик и появляется возможность диффузии выделившегося Si в объем диэлектрика.

Следует заметить, что диффузия восстановленного кремния, которая в тонких диэлектрических пленках имеет анизотропный характер, может приводить к увеличению дефектов ТПК и в диэлектрическом слое за счет образовавшегося Si могут создаваться каналы с повышенной проводимостью, приводящие к облегчению условий возникновения пробоя.

В случае системы $Al-SiO_2-Al$ образуется два новых слоя у верхнего и нижнего электродов. В системах $Cu-SiO_2-Al$ и $Ni-SiO_2-Al$ образуется один дефектный слой у верхнего электрода, так как Cu и Ni имеют слабое сродство к кислороду.

Наличие в приэлектродных областях ТПК I-го типа двух слоев с повышенной проводимостью резко снижает электрическую прочность $U_{Ni,Cu}^+ > U_{Al}^+$ и повышает число пробоев при выдержке под напряжением по сравнению с ТПК 2 и 3-го типов. С точки зрения образования приэлектродных слоев становится очевидным эффект полярности $U_{Cu}^- > U_{Cu}^+$; $U_{Ni}^- > U_{Ni}^+$, то есть напряжение пробоя ниже, когда катодом служит электрод, у которого образуется дефектный слой. О наличии слоистой структуры свидетельствуют и зависимости $tg\delta$ от частоты для ТПК всех 3-х типов (см. рисунок).

Как видно из рисунка, на всех кривых $tg\delta = f(\omega)$ обнаружены два максимума $tg\delta$ — на низких частотах (20 — 150 кГц) и на высоких (6 — 20 мГц). Первый максимум $tg\delta$ соответствует макронеоднородностям [II], то есть характеризует интегральный эффект слоистой структуры. Существование второго максимума гово-



рит о вкладе микронеоднородностей в $tg\delta$ [II]. Эта микронеоднородность, очевидно, характеризует наличие в ТПК восстановленного кремния, продиффундировавшего в объем диэлектрика.

Кроме того, из рисунка следует, что ТПК I-го типа обладают большими макро- и микронеоднородностями, чем ТПК 2 и 3-го типов, что согласуется с выдвинутой выше гипотезой об образовании слоистой структуры за счет окислительно-восстановительных реакций на границе металл-диэлектрик.

Вывод: для увеличения электрической прочности ТПК материал электродов должен обладать меньшим сродством к кислороду, чем материал диэлектрического слоя.

Л и т е р а т у р а

1. "Пленочная микроэлектроника" под общей редакцией Л.Холланда, изд-во "Мир", 1968.
2. FORLANI P., MINNAIA N. Thickness Influence in Break down Phenomena of Thin Dielectric Films. - "Phys. Stat. Sol.", 1964, vol.4, N 2, p.311.
3. Физика тонких пленок. т.П. Под редакцией Г. Хасса и Р.Э. Туна. Изд-во "Мир", 1967.
4. КОРЗУ В.Ф. Об электрической прочности пленок на переменном напряжении. -ФТТ, 1966, т. 8, вып.8, стр. 2500.
5. GOLDSTEIN R.M., LEONHARD F.W. - Proc. Electron. Compon. Conf. New York, 1967, N 4.
6. ЕФИМОВ И.Е., БЛИНОВ Г.А. О влиянии пористости на электропроводность тонких диэлектрических пленок. -"Радиотехника и электроника", 1970, т.ХУ, вып. 6.
7. PAUL P.BUDENSTEIN, PAUL I.HAVES. Breakdown Conduction in Al-SiO-Al Capacitors. - "Journal of Applide Physics, 1967, vol.38, N 7, p.2837.
8. КОСЦОВ Э.Г. О нарушении электрической прочности диэлектрических пленок. -"Вычислительные системы", изд-во "Наука" Сиб. отд., 1968, вып. 29, стр. 171.
9. ВУРОБЬЕВ Г.А. О механизме пробоя диэлектрических пленок. -ФТТ, т.10, вып. 1, 1968, стр. 266.
10. СЕВЕРДЕНКО В.П., ЛАБУНОВ В.А., КУРАЕВА С.Н., КУРМА - ШОВ В.И. К вопросу о микропробоях в тонкопленочных конденсаторах. -Доклады АН БССР, т. ХУ, № 2, 1971, стр. 127-129.
11. НЕКРАСОВ М.М. Микроминиатюризация и микроэлектроника на нелинейных сопротивлениях. М., 1965.

Поступила в ред.-изд.отд.

1 октября 1971 г.