

OPONENTNÍ POSUDEK

disertační práce Ing. Martina Kopeckého

„Charge Carrier Transport in Ta₂O₅ Oxide Nanolayers with Application to the Tantalum Capacitors“

Předložená disertační práce je věnována studiu transportních charakteristik nanovrstev pentoxidu tantalů s aplikací na tantalové kondenzátory. Práce obsahuje teoretický úvod, na který navazuje obšírnější experimentální část v oblasti transportních charakteristik v teplotním rozsahu od 12 do 300 K. Studium transportu náboje je zaměřeno na objasnění vlivu defektů na vodivost těchto nanovrstev a na identifikaci transportních mechanismů projevujících se v oblasti velmi nízkých teplot. Práce má celkem 106 stran včetně seznamu použité literatury a vlastní publikační činnosti.

Po prostudování disertační práce, seznamu publikací a hodnocení tvůrčí činnosti mohou konstatovat:

a) Z předložené práce je zřejmé, že její námět odpovídá oboru disertace. Vzhledem ke skutečnosti, že je v současné době kladena významná pozornost diagnostickým metodám, jejichž cílem je kontrola zvyšování kvality a spolehlivosti elektronických součástek v oblasti velmi nízkých teplot pro aplikace v kosmickém výzkumu, lze práci považovat za aktuální z hlediska současného stavu vědy.

b) Disertační práce obsahuje původní přínosné části. Jedná se zejména o tyto výsledky:

Měření tloušťky izolační vrstvy pentoxidu tantalů a tloušťky katodové vrstvy pomocí řádkovacího mikroskopu na dokonale vybroušených vzorcích, které umožňuje zpřesnit hodnotu anodizačního součinitele.

Z analýzy C-V charakteristik vyplývá, že koncentrace donorů (vakancí po kyslíku) je v rozsahu 2 až $3 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ a se snižující se teplotou roste. Difúzní napětí roste s klesající teplotou a mezi difúzním napětím a koncentrací donorů existuje korelace.

Z analýzy I-V charakteristik vyplývá, že v teplotním rozsahu 12K až 150 K jsou dominantní ohmická a tunelová složky proudu. Charakteristická hodnota intenzity elektrického pole pro vznik tunelování není totožná pro transport elektronů v normálním a reversním módu, což potvrzuje asymetrii potenciálních bariér u anody a katody, takže kondenzátory lze použít jako bipolární pouze v nízko-teplotním rozsahu do 150 K.

Potenciálová bariera pro tunelování elektronů z katody vodivého polymeru je při teplotě 12 K asi 0,8 eV a s rostoucí teplotou klesá na hodnotu 0,4 eV při teplotě 150 K. Kondenzátory s burelovou katodou mají potenciální barieru mezi Ta₂O₅ a MnO₂ v rozsahu 1,2 až 1,6 eV. Potenciálová bariera mezi anodou a Ta₂O₅ je nižší než na katodě a s rostoucí teplotou klesá od 0,6 eV do 0,3 eV.

Kondenzátory s katodou z vodivého polymeru vykazují v teplotním rozsahu 12K - 150 K kromě Fowler-Nordheimovy složky tunelování elektronů z katody do vodivostního pásu izolační vrstvy Ta₂O₅ ještě složku tunelového proudu z HOMO hladiny vodivého polymeru

do pásu oxidových vakancí. Tato tunelová složka nabývá maximální hodnoty při napětí okolo 3 V a umožňuje odhadnout šířku energetického pásu oxidových vakancí.

Ohmická složka proudu se uplatňuje v rozsahu intenzity elektrického pole do 50 kV/cm a její hodnota roste s teplotou. K vyhodnocení je použita jak grafická tak analytická metoda stanovení charakteristických parametrů jednotlivých složek proudu. Výsledky určené analytickou metodou jsou v dobrém souladu s grafickou metodou analýzy Fowler-Nordheimovy složky tunelování elektronů z katody do vodivostního pásu izolační vrstvy Ta₂O₅ v teplotním rozsahu 12 K až 60 K. Při vyšších teplotách se výsledky mírně liší a to pravděpodobně v důsledku zanedbání termoemisní složky proudu.

Mezi významné výsledky ještě patří určení pohyblivosti nosičů proudu, jejíž hodnota je v rozsahu 10⁻⁸ až 10⁻⁶ m²/Vs.

Na základě uvedených charakteristik bylo možné provést porovnání výrobních technologií obou typů kondenzátorů a uvést některé užitečné informace pro jejich další vývoj.

- c) Podstatné části disertace byly publikovány jak na domácí úrovni, tak i v zahraničí. V seznamu publikací se uvádí 2 původní publikace v zahraničním časopise, jeden původní článek v domácím časopise a dále 15 příspěvků na mezinárodních a 5 příspěvků na domácích konferencích.
- d) Výsledky vědeckovýzkumné činnosti Ing. Kopeckého, jeho publikační činnost a celkové bodové hodnocení jeho vědeckovýzkumné činnosti ukazují, že se jedná o pracovníka s vědeckou erudicí.
- e) Disertační práce je psána přehledně, má velmi dobrou grafickou úroveň a obsahuje velké množství experimentálních výsledků, zejména v oblasti měření a analýzy transportních charakteristik tantalových kondenzátorů.

V práci lze narazit na některé nejasnosti či nepřesnosti a méně vhodné formulace, které však nesnižují vysokou hodnotu této práce .

Zde bych uvedl např. tyto:

str.11¹³ - we can see that with decreasing current density DCL decreases – opravit na - we can see that with decreasing anodization current density DCL in reverse mode decreases

str.11₂ – for the enough strength of the layer – opravit na - for the enough thickness of the layer

str.18₁ – the higher electron affinity the lower leakage current – opravit na - the higher electron affinity the higher leakage current

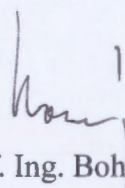
str.25¹¹ quadratic approximation with the line E = 1V/m – opravit na E = 1MV/cm

K předložené práci mám následující dotazy :

1. Objasněte při kterém technologickém kroku vznikají vakance po kyslíku a zdůvodněte, zda jsou jediným zdrojem donorového příměsného pásu defektů ve struktuře Ta₂O₅ izolační vrstvy.
2. Posuďte s jakou přesností lze určit hodnoty potenciálních bariér mezi katodou a izolační vrstvou Ta₂O₅ a dále mezi anodou a Ta₂O₅.

Závěrem mohu konstatovat, že předložená disertační práce Ing. Martina Kopeckého „Charge Carrier Transport in Ta₂O₅ Oxide Nanolayers with Application to the Tantalum Capacitors“ má charakter tvůrčí vědecké práce, obsahuje cenné původní výsledky, které byly dostatečně publikovány, odpovídá požadavkům pro udělení akademického titulu Ph.D a proto ji doporučuji k obhajobě.

V Brně, 20.5.2015



Prof. Ing. Bohumil Koltavý, CSc.