

Oponentní posudek disertační práce

Uchazeč: Ing. Martin Velísek

Název disertační práce: Studium degradace MIS struktur v důsledku difuze iontů

Oponent: *prof. Ing. Karel Haláček, CSc.*

Pracoviště oponenta:

Ad a) Aktuálnost tématu disertační práce

Téma disertační práce je velmi aktuální.

Komentář: Disertační práce je součástí vědeckovýzkumných aktivit školicího pracoviště a bezprostředně na ně navazuje. Hlavní zaměření práce, analýza degradace MIS struktur v důsledku difuze iontů, odpovídá oboru disertace. Lze konstatovat, že současné rychle se vyvíjející potřeby praxe jak výrobců, tak i uživatelů vyžadují hlubší analýzu důležitých provozních parametrů používaných součástek. To se odráží i v publikační aktivitě mnoha vědeckých pracovišť, věnované této problematice, a je dokumentováno mj. i v uvedeném seznamu publikací. Proto konstatuji, že téma předložené disertace je velmi aktuální a přínosné.

Ad b) Splnění stanoveného cíle disertační práce

Cíl disertační práce byl splněn.

Komentář: Hlavním cílem disertační práce je analyzovat degradaci struktury MIS tantalových kondenzátorů v důsledku difuze iontů. Ta se projevuje především ve změně parametrů zbytkového proudu. Proto jsou dílčí úkoly zaměřeny na zjišťování časových, teplotních a napěťových závislostí v různých režimech, přičemž jejich analýzou si dal disertant cíl vytvořit modely struktury MIS testovaných tantalových kondenzátorů, které umožní vysvětlit nově zjištěné dlouhodobé změny v chování závislostí zbytkového proudu jako projevu difuze iontů. Lze konstatovat, že disertant tento cíl splnil.

Ad c) Postup řešení problému a výsledky disertační práce s uvedením konkrétního přínosu doktoranda

Postup řešení problému a výsledky disertační práce jsou nadprůměrné.

Komentář: Analýza závislosti zbytkového proudu souboru tantalových kondenzátorů v procesu stárnutí při zvýšené teplotě a vysoké intenzitě elektrického pole je pokračováním studia degradace parametrů zbytkového proudu, kterému se disertant začal věnovat v rámci své diplomové práce v roce 2013. V disertační práci jsou uvedena, jak nová měření z let 2018-2019, tak porovnání některých charakteristik měřených v roce 2013.

Výsledek provedené analýzy časových závislostí zbytkového proudu na nových vzorcích po dlouhodobém žihání na teplotě $T = 155\text{ °C}$ a napětí $U = 25\text{ V}$ a vzorků skladovaných při pokojové teplotě po dobu delší než 5 roků vede k závěru, že kromě kladných iontů ovlivňují časovou závislost zbytkového proudu také záporné ionty. Průběh časové charakteristiky zbytkového proudu je možné rozdělit do dvou fází, které korespondují s dvěma různými mechanismy migrace iontů a které v kondenzátoru během měření probíhají. První mechanismus způsobuje pokles zbytkového proudu v počáteční fázi měření časové charakteristiky a je způsoben migrací záporných iontů z katody do izolantu. Záporné ionty ovlivňují časovou závislost zbytkového proudu kondenzátoru pouze na počátku žihání a nemají zásadní vliv na proces degradace

parametrů této MIS struktury.

Druhý mechanismus způsobuje při teplotě vyšší než je prahová teplota T_0 , zvyšování zbytkového proudu v průběhu celého měření a je způsoben transportem kladných iontů v izolantu směrem od anody ke katodě. Tento mechanismus způsobuje degradaci struktury MIS tantalových kondenzátorů v důsledku difúze iontů a proto je hlavním předmětem provedeného studia.

Přínos doktoranda

Významným přínosem je určení hraniční teploty T_0 při daném napětí, při níž degradace začíná. Nejvyšší hodnotu hraniční teploty T_0 (asi 90°C při nominálním napětí 35 V) má technologie výroby vzorků TaA. Technologie výroby vzorků TaB má nejnižší hraniční teplotu T_0 , která je asi o 10 °C nižší. Toto je zajímavý poznatek, že kladné ionty jsou u vzorků technologie TaB v menší potenciální jámě než u vzorků TaA. Hloubka potenciální jámy, tedy závisí na technologii výroby kondenzátorů.

Hodnota hraniční teploty T_0 roste s klesajícím napětím na kondenzátoru, takže při napětí 25 V je hraniční teplota T_0 u vzorků TaA a TaC vyšší než 125°C. Při dlouhodobém žíhání nedochází u těchto vzorků ke zvyšování zbytkového proudu, pokud je na nich napětí nižší než 25 V a teplota je nižší než 125°C.

Dalším přínosem je analýza časové závislosti zbytkového proudu kondenzátoru, z níž vyplývá, že na počátku procesu žíhání při dostatečně vysoké teplotě a v silném elektrickém poli se kladné ionty z počátku žíhání pohybují driftem a tím roste intenzita elektrického pole na rozhraní izolant/katoda lineárně s časem, takže zbytkový proud je exponenciální funkcí času. Tím roste koncentrace kladných iontů u katody a jejich transport se postupně mění na difúzní. Doktorand pak modeluje časovou závislost zbytkového proudu v celém časovém intervalu pomocí modifikované exponenciální rovnice.

Ad d) Význam pro praxi nebo rozvoj oboru

Význam pro praxi nebo rozvoj oboru je nadprůměrný.

Komentář: Předložená práce má přínos pro rozvoj oboru i pro praxi. Jedná se o velmi zajímavé téma z hlediska uplatnění těchto součástek v elektronických výrobcích a to jak ve spotřební elektronice, tak ve speciálních aplikacích v lékařství jako jsou kardiostimulátory a v kosmickém výzkumu.

Ad e) Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň

Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň je velmi dobrá.

Komentář: Disertační práce je sepsána jasným a přehledným způsobem. Odborná úroveň práce je velmi dobrá, téma je z technologického hlediska zajímavé. Práce má standardní členění a její rozsah je 84 stran. Experimentální část obsahuje časové charakteristiky zbytkového proudu v průběhu žitání, závislost zbytkového proudu na intenzitě elektrického pole a na teplotě. V práci je též uveden vliv záporných iontů na měření VA charakteristiky zbytkového proudu.

Práce je po formální i jazykové stránce vypracována velice pečlivě s minimem chyb a formálních nedostatků. Mám jen několik připomínek, z nichž jako příklad uvádím:

Str. 4⁵, 12₁, 12₃, namísto „mod“ má být „mód“

Str. 4⁸ ve vyjádření rozhraní „izolant- polovodičová dioda“ by měla být mezera na obou stranách pomlčky.

Str. 25, obr. 20 a řada dalších obrázků V popisech obrázků je uvedeno např. „Časové charakteristiky zbytkového proudu ... pro teploty $T = 45\text{ °C}$ a $T = 65\text{ °C}$ na napětí $U = 35\text{ V}$ “. Mělo by být zřejmé uvedeno „pro napětí“ protože předložka **na** může vést k závěru, že by mělo jít o závislost na napětí.

Str. 72_{2,7,12} např: „a poté začne růst, Z experimentů však vyplývá,“ buď po čárce malé písmeno, nebo nová věta a místo čárky tečka.

Ad f) Disertační práce splňuje podmínky uvedené v § 47 odst. 4 zákona

Disertační práce splňuje podmínky uvedené v § 47 odst. 4*) zákona č. 111/1998 sb. o vysokých školách.

Komentář: Mohu konstatovat, že předložená práce rozsahem i obsahem splňuje všechny požadavky kladené na doktorskou disertaci.

Ad g) Prokázání tvůrčí schopnosti studenta v dané oblasti výzkumu a zda práce splňuje nebo nesplňuje požadavky standardně kladené na disertační práce v daném oboru.

Doktorand prokázal tvůrčí schopnosti v dané oblasti výzkumu a práce splňuje požadavky standardně kladené na disertační práce v daném oboru.

Komentář: Konstatuji, že předložená disertace Ing. Martina Velíška má charakter tvůrčí vědecké práce a obsahuje cenné původní výsledky s aktuálním významem, které byly publikovány i na mezinárodním fóru. Práce má adekvátní a výbornou úroveň formálního zpracování. Výše uvedené drobné připomínky nesnižují celkovou vysokou vědeckou hodnotu disertace. I z doplňujících materiálů a přehledu publikací lze soudit, že se jedná o pracovníka s vědeckou erudicí.

Celkové hodnocení:

Konstatuji, že disertační práce a její úroveň je velmi dobrá. Práce obsahuje významné výsledky a odpovídá obecně uznávaným požadavkům k udělení akademického titulu Ph.D. Proto doporučuji práci k obhajobě.

Otázky oponenta:

1. Jaké závěry pro praxi ať už výrobní nebo uživatelskou lze z vašich poznatků udělat?
2. Za jakých podmínek lze minimalizovat vliv difúze kladných iontů na časovou závislost zbytkového proudu těchto tantalových kondenzátorů?

Disertační práci doporučuji k obhajobě.

Dne: 25.11. 2020

Podpis: