

## Oponentní posudek disertační práce

**Uchazeč:** Ing. Martin Velísek

**Název disertační práce:** Studium degradace MIS struktur v důsledku difúze iontů

**Oponent:** Prof. RNDr. Stanislav Nešpůrek, DrSc.

**Pracoviště opONENTA:** Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická

### Ad a) Aktuálnost tématu disertační práce

Téma disertační práce je aktuální.

Komentář:

Předložená disertační práce řeší problém degradace zbytkového proudu struktury MIS tří souborů tantalových kondenzátorů s pevným elektrolytem v důsledku difúze iontů. Tato problematika je velice aktuální nejen z hlediska vědeckého poznání, ale také z hlediska aplikačního. Tématicky je práce orientovaná do oblasti životnosti, spolehlivosti a časové stability kondenzátorových struktur.

### Ad b) Splnění stanoveného cíle disertační práce

Stanovený cíl disertační práce byl splněn.

Komentář:

Degradace parametrů zbytkového proudu a jeho složek byla sledována v závislosti na čase, na přiloženém napětí a teplotě. Na základě experimentálních výsledků byl analyzován mechanismus vedení proudu a vliv intenzity elektrického pole. Bylo zjištěno, že k degradaci zbytkového proudu dochází v důsledku pohybu kladných iontů a byla určena teplota, při které k tomuto procesu dochází. Výsledky jsou statisticky významné.

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

Postup řešení problému splňuje zadání disertační práce, která navazuje na některé aktivity a výsledky uvedené autorem v diplomové práci. Výsledky disertační práce jsou shrnuty na straně 70 – 73. Jejich výčet ukazuje na aktivní přístup doktoranda k řešení zadané problematiky.

Komentář:

Výsledky provedených analýz časových závislostí zbytkového proudu po procesu žíhání při teplotě 155 °C a vzorků skladovaných při pokojové teplotě po dobu delší než 5 roků vedou k závěru, že při studiu stabilit kondenzátorů je možné nahradit dlouhodobou škálu měřeními provedenými v kratším časovém úseku při

vyšších teplotách. Tímto bylo potvrzeno termodynamické pravidlo čas x teplota, které se vyskytuje také u celé řady jiných fyzikálních procesů. Výsledek je zajímavý tím, že byl proveden v časovém úseku pěti let, což byl zřejmě jeden z důvodů prodloužení studia. Autor disertace dále ukázal, 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. V počáteční fázi je proces ovlivněn zejména migrací záporných iontů z katody do izolantu, zatím co následný proces je ovlivněn transportem kladných iontů v izolantu. Proces degradace struktury MIS tantalových kondenzátorů je způsoben převážně difúzí kladných iontů, a proto byl tento proces hlavním předmětem zájmu experimentálního studia.

Dalším přínosem doktoranda je návrh experimentu, který umožnil určit hraniční teplotu, při níž začíná proces degradace a tudíž i difúze při zkráceném teplotním cyklu.

Velkým přínosem je analýza časové závislosti zbytkového proudu kondenzátoru a zjištění, že na počátku procesu žhání při dostatečně vysoké teplotě a v silném elektrickém poli se kladné ionty pohybují driftem lineárně s časem, čímž roste intenzita elektrického pole na rozhraní izolant/katoda. Zbytkový proud je exponenciální funkcí času s exponentem  $0.5 \div 1.0$ .

Migrace záporných iontů nevede k degradaci kondenzátoru.

#### **Ad d) Význam pro praxi nebo rozvoj oboru**

Význam pro praxi a rozvoj oboru je přínosný.

Komentář:

Jedná se o vysvětlení procesu stárnutí tantalových kondenzátorů a návrh možností jejich stabilizace.

#### **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, kvalita obrázků a grafů je na vynikající úrovni. Práce má standardní členění a její rozsah je 84 stran. Je rozložena do pěti kapitol a závěru. Vlastní práce disertanta je soustředěna převážně do kapitoly 4, Experimentální část, která obsahuje zejména časové charakteristiky zbytkového proudu v průběhu stárnutí, závislosti zbytkového proudu na intenzitě elektrického pole a teplotě a poukazuje na vliv migrace záporných iontů na VA charakteristiky. V závěru disertační práce je uvedena použitá literatura (21 prací) a seznam prací doktoranda (1 publikace a dva příspěvky na konferencích).

#### **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:

Po podrobném posouzení disertace mohu konstatovat, že předložená disertační práce je výsledkem systematického a cílevědomého studia.

#### **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 obsahem i rozsahem splňuje požadavky standardně kladené na disertační práce v daném oboru.

Komentář:

Orientace disertanta v řešené problematice je dobrá, o čemž svědčí jedna publikace v impaktovaném časopise, jeho aktivní účast (sponzorována Evropskou vesmírnou agenturou) na mezinárodním Symposiu Space Passive Component Days v roce 2013 a jeden konferenční článek (autor je spoluautor) o problematice degradace zbytkového proudu tantalových kondenzátorů, způsobené aplikací silného elektrického pole při vysoké teplotě.

Celkové hodnocení: Disertační práce obsahuje významné výsledky a její úroveň je dobrá.

Otázky oponenta:

1. Popište časovou závislost zbytkového proudu při dlouhodobém žíhání a vysvětlete fyzikální příčinu změny exponentu modifikované exponenciální závislosti.
2. Při měření časové závislosti zbytkového proudu v teplotním rozsahu 25 až 65 °C dochází k systematickému poklesu hodnoty zbytkového proudu. Vysvětlete, co je příčinou tohoto jevu.
3. Str. 9, rovnice 3. Jde pravděpodobně o překlep. Můžete upřesnit tvar rovnice (exponent exponenciální funkce by měl být bezrozměrný)? Jaký rozměr má potom  $E_a$ ?

**Disertační práci doporučuji k obhajobě .**

Dne: 23. 11. 2020.

Podpis: .....