

prof. ing. Jaroslav Boušek, CSc.  
Ústav mikroelektroniky  
Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
Technická 3058/10, Brno, 616 00

**Oponentský posudek doktorské dizertační práce**  
**STUDY OF ELECTRIC AND DIELECTRIC PROPERTIES OF IONIC LIQUIDS**

Doktorand: **Ing. Jakub Altšmíd**

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

**Aktuálnost zvoleného tématu**

Zadané téma je velmi aktuální. Schopnost organických systémů vykazovat kromě elektronové také iontovou vodivost může být využita v řadě aplikací. Charakterizace elektrických vlastností iontových kapalin, která byla v práci provedena, včetně rozboru použitých metodik, je proto velmi přínosná a prototyp senzoru NO<sub>2</sub> připravený a zhodnocený v rámci posuzované práce je použitelný v řadě aplikací.

**Splnění cíle dizertace**

Cílem posuzované práce bylo stanovení metodiky pro měření vlastností iontových kapalin a podrobná charakterizace elektrických vlastností těchto kapalin pro použití v elektrolytických kapacitorech a superkapacitorech. Na základě získaných znalostí měl také být připraven prototyp senzoru NO<sub>2</sub> a měly být zhodnoceny jeho vlastnosti. Takto stanovený cíl dizertace byl splněn.

**Metody zpracování**

Zvolený postup řešení, metody měření a zpracování výsledků a použité technologie pro přípravu senzoru NO<sub>2</sub> jsou založeny na respektování fyzikálních vlastností iontových kapalin a jsou podle mého názoru vybrány velmi dobře.

Na rozdíl od standardní struktury dizertační práce není cílům práce věnována samostatná kapitola, ale jsou explicitně vyjádřeny formou zadání na začátku práce.

V kapitole "2 *Ionic liquids*" je rozbor fyzikálních a chemických vlastností iontových kapalin a jsou zde i krátce popsány možnosti jejich měření. V další kapitole "3 *Double-layer capacitors*" je vysvětlen princip dosažení velké kapacity u superkapacitorů. Velká část této kapitoly je věnována teorii průrazu dvojvrstvy oxid-iontová vrstva na rozhraní elektrolyt-elektroda.

V kapitole "4 *Sensors, basic parameters and principles of detection*" je přehled typů plynových senzorů. Jsou zde definovány jejich základní parametry a popsány možnosti měření těchto parametrů. V následující kapitole "5 *Description of basic mechanisms in amperometric gas sensors*" jsou podrobně rozebrány dílčí mechanismy ovlivňující funkci tohoto typu senzoru.

Experimentální část práce je popsána v kapitole “6 *Experimental part*” ve čtyřech podkapitolách:

Podkapitola “6.1 *Properties of ionic liquids*” se zabývá stanovením složení a struktury iontových kapalin pomocí měření UV-VIS a IR a zjištěním odolnosti proti rozkladu při zvýšené teplotě pomocí termogravimetrických měření. Byla také provedena měření elektrických vlastností vybraných iontových kapalin pomocí impedanční spektrometrie. Výsledky těchto měření jsou v příloze.

Podkapitola “6.2 *Ionic liquids for use in capacitors*” se blíže zabývá elektrickými vlastnostmi iontových kapalin. Byla provedena impedanční měření a měření teplotní závislosti C-V charakteristik a velmi podrobně byla zkoumána závislost průrazného napětí elektrolytu na jeho složení a elektrické vodivosti.

Podkapitola “6.3 *Ionic liquid-based amperometric NO<sub>2</sub> sensor*” popisuje prototyp NO<sub>2</sub> senzoru založeného na využití iontové kapaliny vybrané na základě předchozích zkušeností s diagnostikou iontových kapalin. Je zde podrobně vysvětlen princip činnosti a je popsáno uspořádání senzoru a použité výrobní postupy. Připravené struktury senzoru NO<sub>2</sub> jsou dokumentovány pomocí nákrešů, fotografií a snímků z elektronového rastrovacího mikroskopu. Z výsledků měření citlivosti a reprodukovatelnosti naměřených hodnot je zřejmé, že navržený prototyp senzoru je plně funkční. V samostatném experimentu byl zkoumán vliv teploty krystalizace vrstvy polymerového elektrolytu na citlivost senzoru. Pro detailní analýzu bylo využito Waveletové transformace.

Závěry z provedených rešerší a experimentů uvedené v kapitole “7 *Conclusions*” jsou správné. Postrádám zde však zhodnocení souvislostí a mezi jednotlivými oblastmi zkoumání a experimentů.

### **Zpracování textu dizertační práce**

Předložená práce má 105 číslovaných stran, včetně přílohy o 22 stranách. V seznamu literatury je 94 pramenů, které jsou citovány především v první polovině práce.

Práce je psána v angličtině a je optimálně strukturovaná a přehledná. Anglický text je dobře srozumitelný, je zde však mnoho drobných opomenutí.

### **Publikování významných částí práce**

Seznam publikovaných prací je uveden za seznamem použité literatury a je v kapitole “12 *List of publications and other activities*”. Jsou zde kromě dalších publikací dva články v impaktovaných časopisech.

### **Nedostatky v textu práce**

Závěrečné editaci práce nebyla dle mého názoru věnována dostatečná pozornost a drobná opomenutí, především v textu práce, se zde vyskytují ve větší míře, než je u prací podobného charakteru obvyklé. Tyto nedostatky však odbornou úroveň práce významně nesnižují. Zde uvádím jen některé:

V celé práci se velmi často vyskytují prázdná místa na konci stránek.

Pro označení obrázků i tabulek jsou v textu použity různé typy písma.

Str. 11 : U rovnic (6) a (7) nejsou definovány parametry A a B.

Str. 20 : U obr.7 by se pro stav po přiložení napětí měla změnit také pravá strana obrázku, znázorňující uspořádání jednotlivých složek na straně elektrolytu.

Str. 41 a str.42 : Postrádám bližší vysvětlení UV-VIS spekter na obr. 24 a obr. 25.

### Otázky k obhajobě

- 1) Vysvětlíte uspořádání grafů pro impedanční spektroskopii, např. na str. 94. Proč není v grafech udán kmitočet měření?
- 2) Jaké mohou být příčiny induktivního chování vzorků vyjádřeného fázovým posunem v grafech na obr. 28 na str. 45?
- 3) Jaká je příčina skokového zvýšení proudu v C-V charakteristikách na obr. 29 na straně 47?

### Závěr

Předložená dizertační práce přináší nové poznatky v problematice kapalin s iontovou vodivostí. Významné je také rozpracování technologií přípravy prototypu senzoru NO<sub>2</sub> a provedené zhodnocení jeho vlastností. Podstatné části práce byly publikovány a práce je přínosem pro studium a rozvoj oboru organické elektroniky a bez pochyby i pro rozvoj oboru, ve kterém byla zadána.

Lze konstatovat, že disertační práce Ing. Jakuba Altšmída zpracovaná na téma "*Study of electric and dielectric properties of ionic liquids*" splnila požadavky, které jsou na tento druh prací podle zákona o vysokých školách kladeny a splňuje tedy ustanovení § 47, odst. 4 zákona č. 111/1998 Sb.

Doktorand v práci prokázal, že má v daném oboru hluboké znalosti, že ovládá a správně používá metodiky pro stanovení fyzikálních, chemických a elektrických vlastností iontových kapalin, je schopen navrhnout a zrealizovat technologické kroky pro přípravu senzorů NO<sub>2</sub> a ovládá také metodiky charakterizace plynových senzorů, což jsou vše činnosti pro obor disertace typické, a že dokáže cílevědomě, systematicky a samostatně vědecky pracovat.

**Doporučuji** proto přijmout oponovanou disertační práci k veřejné obhajobě a zároveň doporučuji, aby byl panu Ing. Jakubovi Altšmídovi po obhájení práce udělen akademický titul **d o k t o r (Ph.D.)**.

V Brně dne 8.11.2019

  
prof. ing. Jaroslav Boušek, CSc.

