

Oponentský posudek

Název práce: **High efficiency n-type monocrystalline silicon solar cells**

Autor: **Ing. Barbora Mojrová**

Oponent: **Dr. Ing. Aleš Poruba**

Předložená disertační práce Ing. Barbory Mojrové je tématicky orientovaná do oboru technologie křemíkových fotovoltaiických článků se zaměřením na „advanced“ struktury na n-typových Si substrátech pro hromadnou výrobu. Kvalitní práce s touto tematikou mohla vzniknout díky dlouhodobému pobytu aspirantky v renomovaném výzkumně-vývojovém centru ISC v Konstanz a jejím aktivním začleněním do tamního výzkumného týmu. Z předkládané práce je zjevně patrné, že Ing. Mojrová se nejen detailně seznámila s technologií výroby různých typů solárních článků, ale osvojila si i využití množství diagnostických metod určených k charakterizaci vlastností dílčích polovodičových struktur v jednotlivých stádiích jejich přípravy i výsledných solárních článků, případně fotovoltaiických panelů. Disertační práce je svým zaměřením z hlediska současného vědeckého bádání stále vysoce aktuální.

Celá disertační práce je rozdělena na 4 dílčí celky. V úvodní kapitole jsou přehledně představeny základní typy struktur solárních článků na n-typových substrátech a následně i všechny jednotlivé technologické kroky pro jejich přípravu, tedy leptací, texturační a mycí (čisticí) operace, difúzní a depoziční procesy, sítotiskové nanášení metalizace a jejich výpal (sintrace). Velmi vhodně jsou u každé technologické operace představeny i nejdůležitější charakterizační techniky pro určení nejdůležitějších fyzikálních parametrů.

Po krátké kapitole shrnující dílčí cíle disertační práce následuje hlavní pasáž s obecným názvem „Výsledky“. Zde je logicky nejvíce prostoru věnováno nejdůležitější technologické operaci, a to vytváření p-n přechodu borovou difúzí, a to ať už samostatně nebo v kombinaci s dalšími návaznými procesy. V této souvislosti je popsán i experiment týkající se ne zcela běžné modifikace borové difúze v nízkotlakém difúzním reaktoru. Bohužel, pravděpodobně díky závadě na technologickém zařízení, jsou získané výsledky ne zcela kompaktní a působí jako trochu vytržené z kontextu. Elektronická a optická kvalita solárních struktur závisí nejen na dobře optimalizovaném profilu difundované vrstvy, ale i na následné struktuře a kvalitě pasivačních a antireflexních vrstev (na obou stranách polovodičové struktury). Právě této tématice je věnována druhá experimentální část práce a jedním z nejdůležitějších výsledků je identifikace minimální tloušťky SiO₂, resp. BSG pod SiNx ARC vrstvou, která je potřeba pro dostatečnou pasivaci borového emitoru. Tyto výsledky jsou i součástí jedné z hlavních publikací aspirantky. Poslední „experimentální“ podkapitola se týká problematiky vytváření kontaktů na solárních článcích a opět je správně pojata v kontextu celé struktury solárních článků. Velmi zajímavou částí je pasáž o „in-situ“ měření kontaktního odporu v průběhu sintrace Ag, resp. Ag-Al sítotiskových past pro různé teplotní profily a koncentrace kyslíku v žíhací atmosféře, které vysvětlují detailně proces vytváření kontaktu.

Poslední kapitola shrnuje dosažené výsledky a ukazuje možné směry dalšího vývoje v dané oblasti solárních článků na n-typových substrátech.

V předkládané práci lze zachytit jen několik málo drobných formálních nedostatků, jako jsou překlepy. Celkově disertační práce obsahuje velké množství dílčích výsledků, i když ne všechny byly jednoznačně interpretovány v souvislosti se zkoumanou strukturou PERT solárních článků (např. PID degradace) a jsou tedy spíše „odkazem“ na další dílčí problematiku týkající se designu, výroby a využití fotovoltaických struktur. Specifickým problémem pro čtenáře předkládané disertační práce může být nedostatečný popis jednotlivých technologických experimentů (detailní parametry procesů), což je logickým vyústěním vysoce střeženého „know-how“ skupiny výzkumníků ISC Konstanz.

Celkově lze kritéria kvality disertační práce jejího předkladatele Ing. Barbory Mojrové shrnout takto:

1. Námět disertační práce odpovídá oboru Mikroelektronika a technologie a z hlediska současného stavu vědy a výzkumu jsou stále vysoce aktuální.
2. Práce vykazuje původní přínosné části, např. určení minimální tloušťky SiO₂, resp. BSG vrstev pro dostatečnou povrchovou pasivaci borového emitoru, nebo specifické problémy metalických sítotiskových vrstev při kontaktování borového emitoru.
3. Nejdůležitější výsledky disertační práce byly publikovány v zahraničních recenzovaných člancích.
4. Disertační práce formálně i jazykově odpovídá velmi dobrým vědecko-výzkumným schopnostem autora, je zpracována přehledně se schopnostmi systematického třídění a výkladu dosažených výsledků výzkumné práce. Počet a kvalita publikací, prezentovaných i v recenzovaném vědeckém tisku, svědčí o náležité vědecké erudici.

Na základě uvedených skutečností vyplývá, že disertační práce Ing. Barbory Mojrové zpracované na téma „High efficiency n-type monocrystalline silicon solar cells“ splnila v celém rozsahu požadavky, které jsou na tento druh prací podle zákona o vysokých školách kladeny. Práce tedy splňuje ustanovení § 47, odst. 4 zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách. Disertantka v práci prokázala, že má v daném oboru hluboké znalosti, že ovládá a správně používá dílčí technologické kroky výroby solárních článků i metodiky a charakteristiky, které jsou 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 disertantce Ing. Barboře Mojrové po obhájení práce udělen akademický titul d o k t o r (Ph.D.).

K disertační práci Ing. Barbory Mojrové mám následující dotazy:

1. V práci je mj. popsán experiment v němž je zkoumán vliv tloušťky SiNx vrstvy na zadní straně (tloušťky v rozsahu 84 až 114 nm) na parametry solárních struktur ($iVoc$ a Jo) a následně i na výsledný kontaktní odpor při různých parametrech výpalu (sintrace). Otázka je, jak velký vliv na měřený parametr $iVoc$ má změna tloušťky SiNx vrstvy na zadní straně díky změně interní reflektivity zadního rozhraní a jaká tloušťka SiNx by byla z tohoto hlediska optimální (pro monofaciální aplikace).
2. Nejznámějším způsobem pasivace p-typového křemíku je pomocí Al_2O_3 vrstev deponovaných pomocí termálního, případně plazmatického ALD, popřípadě PECVD. Byly provedeny nějaké srovnávací testy vytváření struktur solárních článků na n-typovém křemíku, kde by byl borový emitor pasivován tenkou Al_2O_3 vrstvou a jakých bylo případně dosaženo výsledků?

V Rožnově p. R. dne 31. října 2019

Dr. Ing. Aleš Poruba