

Abstract

Hybrid inorganic-organic perovskite solar cells (HIOPSCs) have achieved remarkable progress in the past decade, with power conversion efficiencies (PCEs) increasing from 3% to over 25%. These devices comprise multilayer architectures in which a perovskite absorber is sandwiched between selective charge transport layers. Device performance is greatly impacted by the physical and chemical properties of each layer as well as their interactions. The use of low-dimensional (LD) nanomaterials to improve HIOPSC performance has drawn attention recently.

This thesis explores the integration of two types of LD materials: two-dimensional $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ MXene nanosheets and perovskite quantum dots (CsPbBr_3 PQDs). MAPbI_3 (MAPI) and triple-cation $\text{Cs}_{0.05}(\text{MA}_{0.17}\text{FA}_{0.83})_{0.95}\text{Pb}(\text{I}_{0.83}\text{Br}_{0.17})_3$ (CsFAMI) were employed as the primary absorber layers.

The first part of the work investigates the effect of embedding MXene nanoflakes within the MAPI perovskite layer. Compared to control samples, devices containing 0.15 weight percent MXene showed a 14.3% improvement in PCE, mostly as a result of better electrical and crystallinity characteristics.

The second goal is to introduce MXene into SnO_2 nanoparticle films in order to alter the electron transport layer (ETL). Greater conductivity and the development of bigger, more crystalline perovskite grains were the results of the ideal concentration (0.1 wt.%). Additionally, the role of ambient humidity on perovskite morphology and its subsequent impact on device performance was systematically examined.

Finally, the thesis examines the incorporation of CsPbBr_3 PQDs capped with two different ligands, oleylamine and oleic acid (OAm&OA) and didodecyldimethylammonium bromide (DDAB), into MAPI and CsFAMI films. Detailed optical and structural characterization was carried out. Using continuous-wave (CW) laser excitation at 532 nm, the nonlinear optical (NLO) response was measured. PQD-doped CsFAMI films with OAm&OA ligands at 0.15 mg/mL showed the highest nonlinear refractive index (n_2) and nonlinear absorption coefficient (β). The findings show that the

optical absorption processes and NLO behavior are strongly influenced by the type of ligand and the concentration of PQD.

Together, these results offer important new information about how low-dimensional nanomaterials can improve the optical characteristics, stability, and efficiency of perovskite solar cells.

Abstrakt

Hybridné anorganicko-organické perovskitové solárne články (HIOPSC) zaznamenali za posledné desaťročie pozoruhodný pokrok, keď účinnosť konverzie energie (PCE) vzrástla z 3 % na viac ako 25 %. Tieto zariadenia pozostávajú z viacvrstvovej architektúry, v ktorej je perovskitová absorpčná vrstva vložená medzi vrstvy zabezpečujúce selektívny transport nábojov. Fyzikálno-chemické vlastnosti jednotlivých vrstiev, ako aj ich rozhrania, zohrávajú rozhodujúcu úlohu pri výkonnosti zariadenia. Súčasný výskum sa zameriava na zlepšenie funkčnosti HIOPSC pomocou nízkorozmerových (LD) nanomateriálov.

Táto dizertačná práca sa zameriava na integráciu dvoch typov LD materiálov: dvojrozmerných nanočastíc MXene $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{T}_x$ a perovskitových kvantových bodov (PQD) CsPbBr_3 . Ako absorpčné vrstvy boli použité (MAPbI₃) (MAPI) a trojkationtový perovskite $\text{Cs}_{0.05}(\text{MA}_{0.17}\text{FA}_{0.83})_{0.95}\text{Pb}(\text{I}_{0.83}\text{Br}_{0.17})_3$ (CsFAMI).

V prvej časti práce sa skúmal vplyv začlenenia MXene nanočastíc do MAPI vrstvy. Zariadenia s obsahom 0,15 hmotn. % MXene vykazovali zvýšenie PCE o 14,3 % oproti referenčným vzorkám, čo sa pripisuje zlepšenej kryštalinitnosti a elektronickým vlastnostiam vrstvy.

Druhá časť sa zameriava na modifikáciu vrstvy na prenos elektrónov (ETL) pomocou dopovania SnO_2 nanočastíc MXene. Optimálna koncentrácia (0,1 hmotn. %) viedla k zvýšenej elektrickej vodivosti a umožnila rast väčších, lepšie kryštalizovaných perovskitových zrn. Okrem toho sa systematicky analyzoval vplyv okolitej vlhkosti na morfológiu perovskitovej vrstvy a jej dopad na výkonnosť článkov.

Záverečná časť práce sa zaoberá zapustením PQD CsPbBr_3 s dvoma rôznymi ligandmi, oleylamín a oleylová kyselina (OAm&OA) a didodecyldimetylamóniumbromid (DDAB), do vrstiev MAPI a CsFAMI. Boli vykonané podrobné optické a štrukturálne

charakterizácie. Pomocou kontinuálneho laserového žiarenia s vlnovou dĺžkou 532 nm sa merala nelineárna optická (NLO) odozva. Vzorky CsFAMI s PQD viazanými pomocou ligandov OAm&OA pri koncentrácii 0,15 mg/ml vykazovali najvyššie hodnoty nelineárneho indexu lomu (n_2) a koeficientu nelineárnej absorpcie (β). Výsledky ukazujú, že typ ligandu a koncentrácia PQD významne ovplyvňujú mechanizmus absorpcie a NLO správanie.

Tieto zistenia poskytujú cenný pohľad na úlohu nízkorozmerových nanomateriálov pri zvyšovaní účinnosti, stability a optických vlastností perovskitových solárnych článkov.