

# Abstract

Amorfni a nano- nebo mikro- krystalické tenké vrstvy křemíku jsou intenzivně studované materiály pro fotovoltaické aplikace. Jsou používány jako intrinsické vrstvy (absorbéry) v p-i-n solárních článkách. V porovnání se solárními články založenými na deskách řezaných z krystalického křemíku, tenkovrstvé články obsahují asi 100x méně křemíku a mohou být deponovány při výrazně nižších teplotách (typicky okolo 200 °C). To umožňuje ušetřit energii nutnou pro výrobu a dovoluje použití různých levných (i ohebných) podložek.

Nicméně, tyto vrstvy mají komplexní mikrostrukturu, která komplikuje měření a popis elektronického transportu fotogenerovaných nosičů náboje. Pochopení struktury a elektronických vlastností materiálů v měřítku nanometrů je přitom zásadní na cestě ke zlepšení účinnosti tenkovrstvých solárních článků.

Jedním z hlavních cílů této práce je studium strukturních a mechanických vlastností smíšených tenkých vrstev křemíku s různými tloušťkami a strukturou. Klíčovým parametrem mikrokrytalického křemíku je krystalinita, tj. objemový podíl mikrokrytalické fáze. Ten určuje interní strukturu vrstvy, která rozhoduje o mnoha dalších vlastnostech jako je transport náboje a mechanická stabilita. Ramanovská mikrospektroskopie je rychlá a nedestruktivní metoda pro měření mikrostruktury. Faktory, které pro případ tenkých vrstev křemíku mohou ovlivnit měření, jsou v práci podrobně diskutovány. Je zde také popsána metoda pro výpočet krystalinity z Ramanovských spekter. Ukázali jsme také, že ramanovské mapování může být provedeno s velmi vysokým rozlišením, které v některých případech může překonat omezení dané optickým difrakčním limitem.

Ramanovská spektroskopie může nejen rozlišit amorfni fázi od mikrokrytalických zrn, ale také poskytnout informace o lokálním pnutí ve vrstvě, které je důležité pro vlastnosti a stabilitu vrstev na ohebných podložkách. Zavedli jsme originální způsob vytváření mechanického pnutí, kdy křemíkové vrstvy deponujeme na AFM raménka, která pak ohýbáme pomocí mikromanipulátoru a vytváříme tak dodatečné (extrin-sické) pnutí. Ukázali jsme, že pozice Ramanovského pásu se mění lineárně s aplikovaným napětím pro amorfni a mikrokrytalický křemík. Mohli jsme tak porovnat také stav vrstvy pod napětím a v relaxovaném stavu.

Dalším cílem této práce byla mikroskopická studie transportu náboje v hydrogenovaném mikrokrystalickém křemíku s nanometrovým rozlišením. Poslední část práce popisuje výsledky studia vrstev pomocí vodivostní mikroskopie atomárních sil (C-AFM). Tenké vrstvy mikrokrystalického křemíku byly studovány jak v koplanární, tak v sandwich konfiguraci. Výsledky C-AFM naměřené v ultra vysokém vakuu a na vzduchu jsou diskutovány a porovnány, včetně lokálních I-V charakteristik. Bylo demonstrováno, že na vzduchu (kdy je vrstva křemíku pokryta vrstvou nativního oxidu a tenkou vrstvou zkondensované vody) může samotné C-AFM měření měnit lokální vlastnosti měřeného vzorku díky lokální anodické oxidaci a záchytu náboje na rozhraní mezi křemíkem a jeho oxidem. Ukázali jsme, jak oba tyto procesy mohou vést k artefaktům, které zásadně mění charakter vodivostních map, například ke vzniku prstenců zvýšené vodivosti na hranicích zrn. Odhalili jsme oxidaci sousedních řádků jako zdroj artefaktů, který se objevuje i po prvním měření na dosud nedotčeném povrchu. Ukázali jsme také, jak tomuto artefaktu zamezit. Pro podporu našich závěrů byl odleptán nativní oxid pomocí kyseliny fluorovodíkové. Demonstrovali jsme tak, že po oleptání jsou mapy lokálních proudů měřené na vzduchu porovnatelné s měřením v ultra vysokém vakuu.