

# Wytwarzanie perowskitów

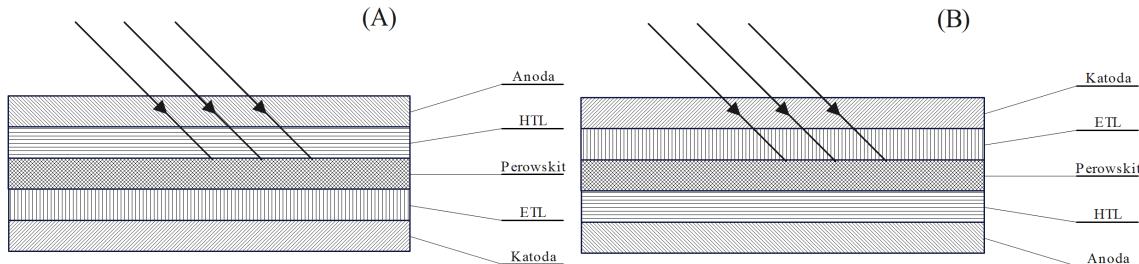
Jędrzej Górnny, Jan Kurek, Rafał Staroszczyk

## 1 Materiały perowskitowe

Oryginalnym perowskitem był tytanian wapnia  $\text{CaTiO}_3$ . Nazwę tą rozwinięto do szerszej grupy związków o wzorze ogólnym  $\text{ABX}_3$ . Możliwych jest kilka konfiguracji ze względu na wartościowość pierwiastków, ale w fotowoltaice najważniejsze jest podgrupa o wzorze ogólnym  $\text{A}^+ \text{B}^{2+} \text{X}_3^-$ . Typowymi jonami są dla  $\text{A}^+$ :  $\text{MA}^+$ ,  $\text{FA}^+$ ,  $\text{EA}^+$ ,  $\text{Cs}^+$  i  $\text{Rb}^+$ ; dla  $\text{B}^{2+}$  dominującym jest  $\text{Pb}^{2+}$ ; dla  $\text{X}^-$ :  $\text{I}^-$ ,  $\text{Br}^-$  i  $\text{Cl}^-$ . Podczas zajęć wykonano ognia na bazie perowskitu  $\text{Cs}_x\text{FA}_{1-(x+y)}\text{MA}_y\text{PbBr}_x\text{I}_{3-x}$ .

## 2 Budowa ognia perowskitowego

Ognia perowskitowe budowane są zwykle w dwóch strukturach: regularnej i odwróconej. Struktura regularna złożona jest kolejno z katody, warstwy transportującej elektryny, warstwy aktywnej, warstwy transportującej dziury i przezroczystej anody. Struktura odwrócona zamienia właściwościami katodę i anodę, więc katoda jest przezroczysta a anoda - nie. Struktura regularna cechuje się większą wydajnością a struktura odwrócona wykazuje większą stabilność [1]. Na rysunku 1A przedstawiono schemat struktury regularnej a na rysunku 1B przedstawiono schemat struktury odwróconej. Każda ze struktur narzuca również inne ograniczenia, ponieważ warstwa transportująca po stronie oświetlanej musi być przezroczysta, aby padające światło było głównie absorbowane w warstwie perowskitowej. W wytwarzanych tu perowskitach wykorzystywany jest PCBM jako warstwa transportująca elektryny (ETL), który jest czarny, więc wymusza to stosowanie struktury odwróconej. Innym ograniczeniem jest rozpuszczalność różnych substancji w różnych rozpuszczalnikach; należy tak dostosować kolejne rozpuszczalniki, aby nie uszkadzały one nałożonych poprzednio warstw.



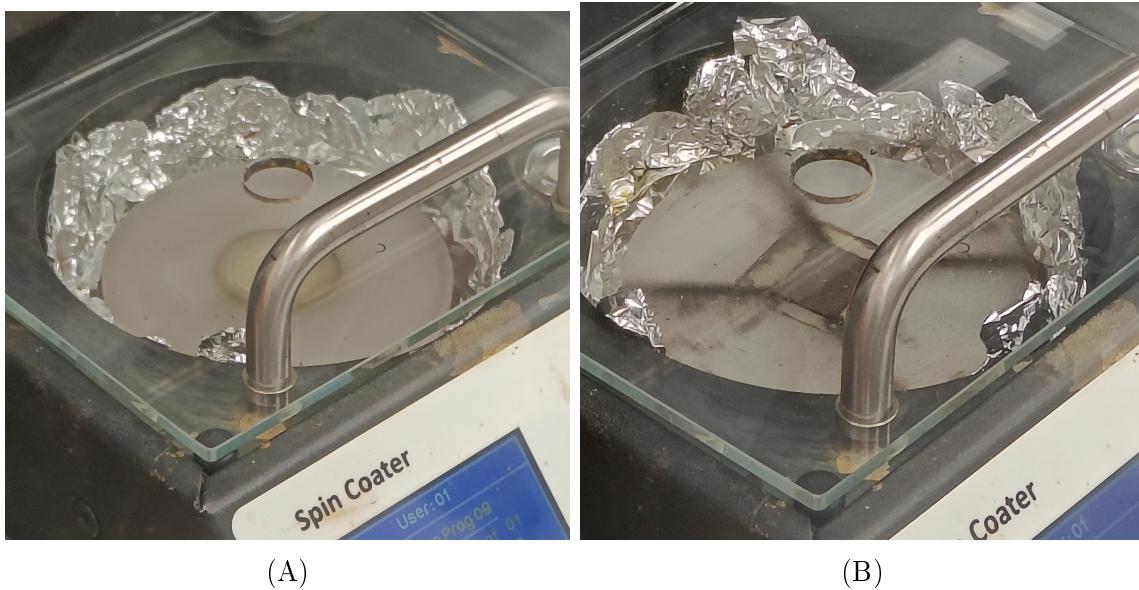
Rysunek 1: Struktury ognia: (A) regularna i (B) odwrócona.

### 3 Wytwarzanie ogniw perowskitowego

Przed rozpoczęciem laboratorium przygotowano odpowienio szkiełka wycinając je z większego kawałka i czyszcząc. Następnie nałożono na nie różne warstwy transportujące dziury (HTL) według:

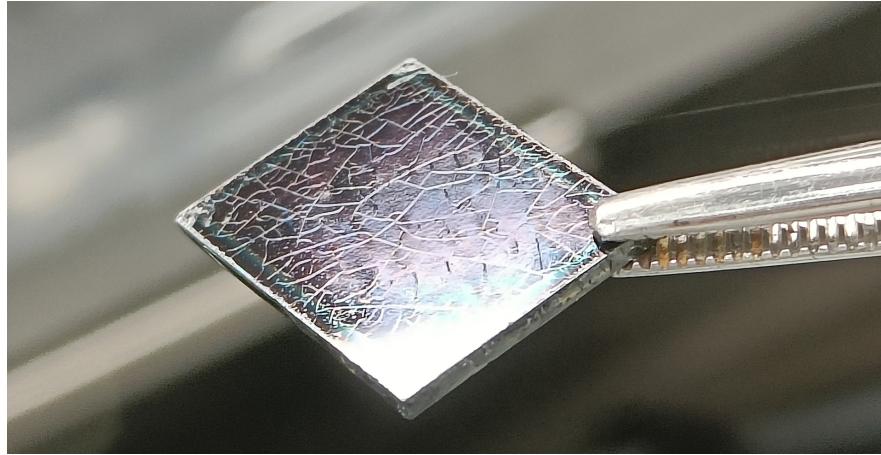
- 1 do 5 —  $\text{MeO}-2\text{PACz} + \text{CuNiO}_x$ ,
- 6 do 10 —  $\text{MeO}-2\text{PACz}$ ,
- 11 do 15 — PTAA.

Na rysunku 2A przedstawiono proces nakładania  $\text{MeO}-2\text{PACz}$  na jedną z próbek. Przeprowadzono je statycznie w spincoaterze, to jest bez początkowego obrotu, a następnie rozpoczęto do prędkości obrotowej 3000 RPM przez 50 s. Próba została przeniesiona na hot plate o temperaturze 100 °C na 10 min.



Rysunek 2: Nakładanie warstw spincoaterem: (A)  $\text{MeO}-2\text{PACz}$ ; (B) perowskitu (pierwszy krok)

Następny w kolejności perowskit został nałożony w wieloetapowo: najpierw nałożono spincoaterem  $\text{PbI}_2$ , FAI,  $\text{CsBr}$  oraz MAI (rys. 2B), a dopiero na końcu dodano rozpuszczalnik, aby powiązać składniki w jedną warstwę, którą wygrzano w celu usunięcia rozpuszczalnika i wykryształowania perowskitu (rys. 3).



Rysunek 3: Próbka z warstwą perowskitu

Warstwa ETL jest dwuskładnikowa. Pierwszą warstwą jest PCBM, który jest głównym transporterem elektronów, a drugą —BCP , która jest cienka i jej rolą jest modyfikacja pracy wyjścia. Podczas laboratorium wykonano jedynie tą pierwszą. Nałożona została ona statycznie (rys. 4), a następnie spincoater rozpoczęto do 1000 RPM przez 60 s, a po zakończeniu wygrzano na hot plate'ie.



Rysunek 4: Nakładanie statyczne PCBM

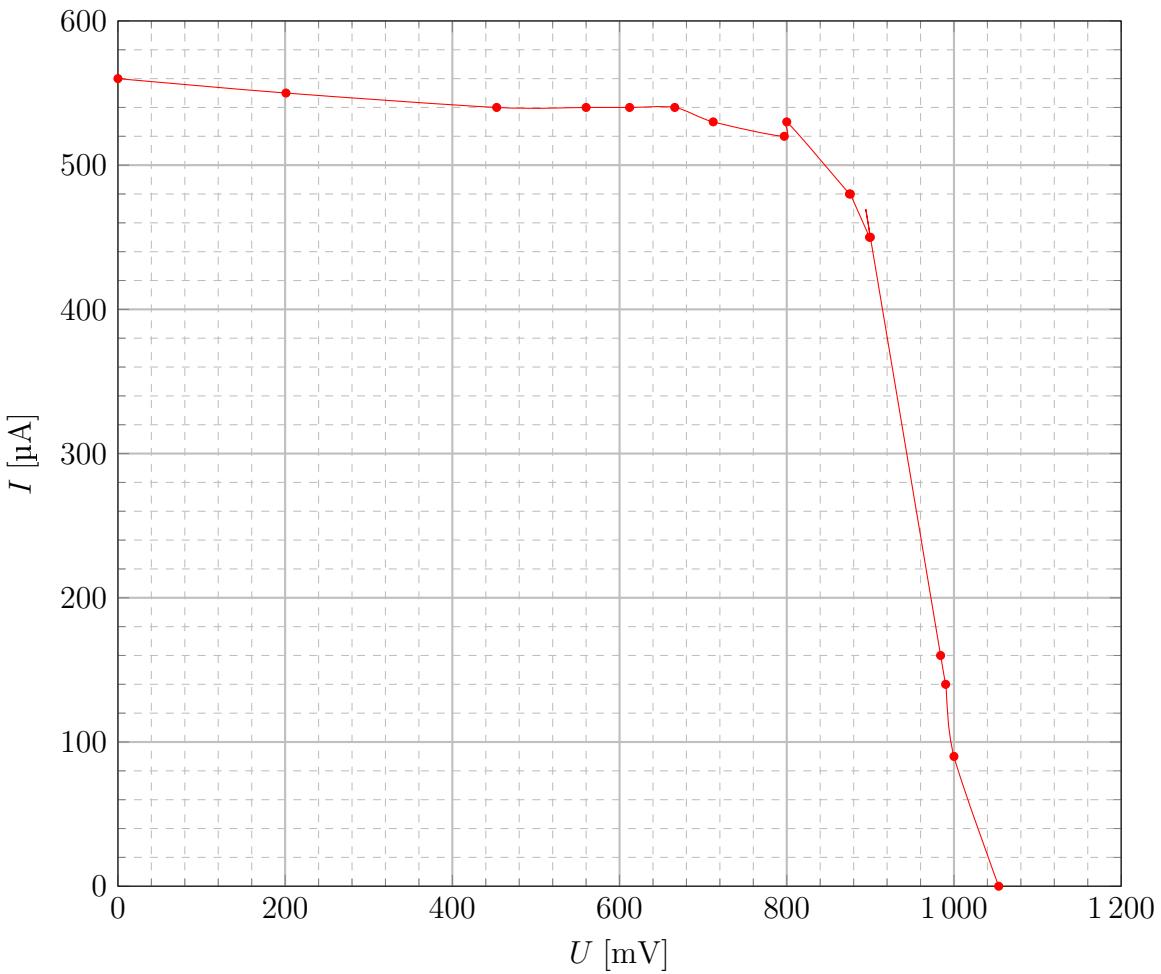
Druga elektroda została nałożona poprzez naparowywanie próżniowe srebrem wydzielając przy tym 4 ogniska, w celu zwiększenia zarówno ilości dostępnych do badania próbek jak i jednorodności ogniska na każdej z mniejszych powierzchni ogniw. Całość została zakapsułkowana w szkle.

## 4 Charakterystyka perowskitu

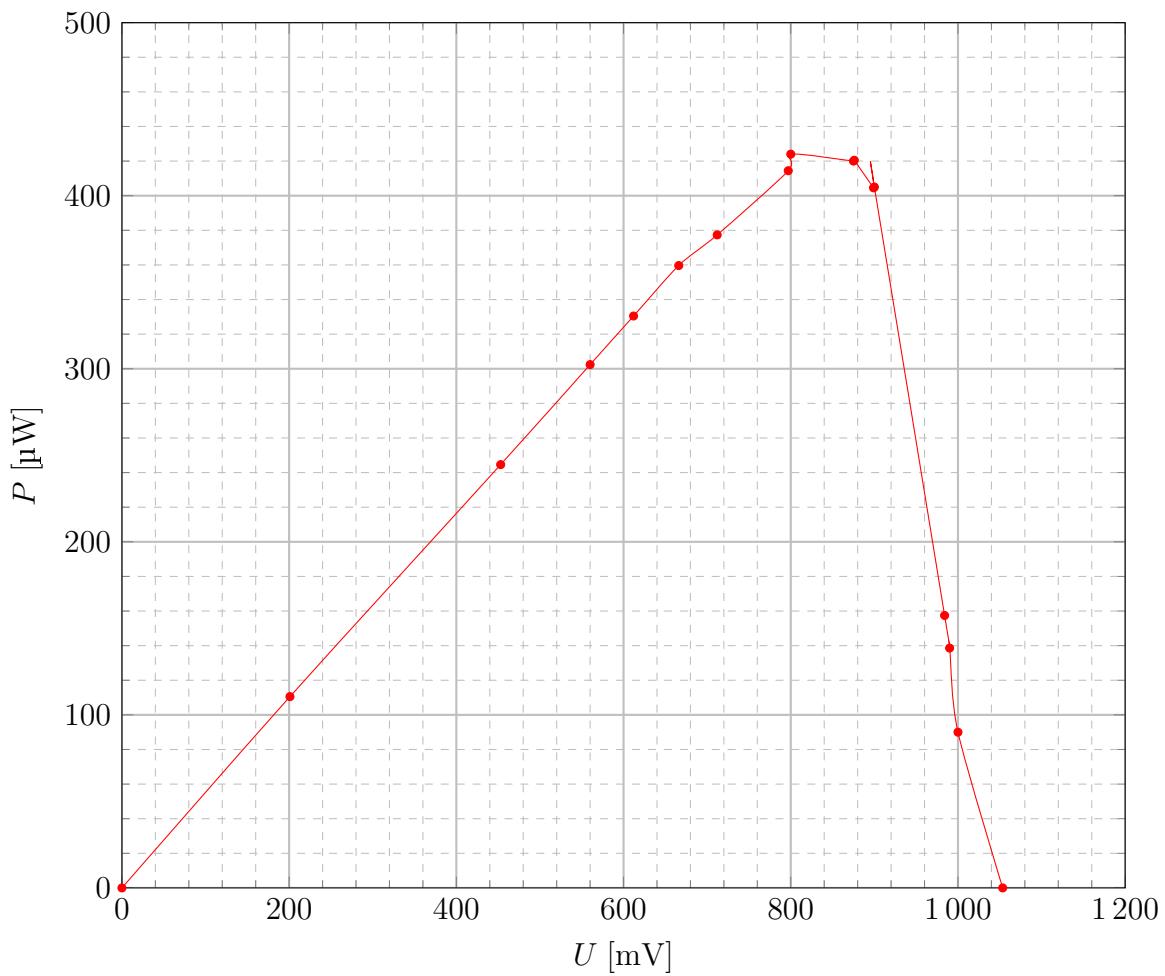
Ognivo perowskitowe umieszczone na uchwycie w pewnej stałej odległości od lampy. Jego wyjścia podłączone równolegle do woltomierza i układu szeregowego amperomierza i rezystora nastawnego. Poprzez zmianę oporu zmieniano badany punkt krzywej charakterystyki prądowo-napięciowej (rys. 5). Z otrzymanych danych policzono zależność mocy ogniwia od jego napięcia (rys. 6) i postawowe parametry ogniwia (tab. 1).

| $U_{OC}$<br>[mV] | $I_{SC}$<br>[μA] | $U_{MPP}$<br>[mV] | $I_{MPP}$<br>[μA] | FF<br>[%] | $P_{MPP}$<br>[μW] |
|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|
| 1053.5           | 560.0            | 839.8             | 490.2             | 70        | 411.7             |

Tabela 1: Parametry ogniwia



Rysunek 5: Zależność prądu od napięcia



Rysunek 6: Zależność mocy od napięcia

## Bibliografia

- [1] D. Główienka. „Technologia Ogniw Fotowoltaicznych. Wykład 9: Ogniwa perowskitowe”. 2025.