

Nanokrystalické tenké filmy oxidu železitého pro solární štěpení vody

J. Frydrych, L. Machala, M. Mašláň, J. Pechoušek,
M. Heřmánek, I. Medřík, R. Procházka, D. Jančík,
R. Zbořil, J. Tuček, J. Filip a M. Vůjtek

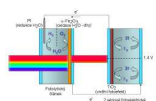


Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

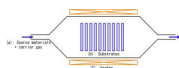
Obsah prezentace



- Obecný úvod do problematiky tenkých filmů.



- Tandemové fotokatalytické články s hematitovou polopropustnou elektrodou.



- Způsoby depozice tenkých vrstev.



- Nová metoda depozice hematitových nanokrystalických vrstev.



- Metody studia materiálového složení tenkých filmů.



Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Tenké filmy obecně

- Tenké filmy jsou tenké materiálové vrstvy nanesené na substrát, jejichž tloušťka se pohybuje od zlomků nanometrů u monovrstev do několika mikrometrů.
- Jednoduché vrstvy i multivrstvy.



- Nejpoužívanější materiály:

- Kovy a jejich oxidy
- Polovodiče
- Polymery
- Keramika

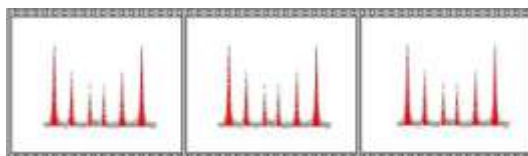
- Použití:

- Optické vrstvy
- Polovodičová elektronika
- Katalytické vrstvy
- Materiálové inženýrství (zušlechťování povrchů)

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Hematitové nanokrystalické polopropustné fotoelektrody

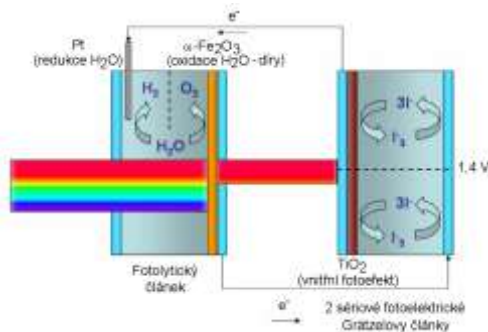
- Přímá slunečním světlem indukovaná fotoelektrolýza vody
- Využívány v tzv. tandemovém článku jako elektrody fotolytické cely
- Výhody použití hematitu:
 - + Vhodná šířka zakázaného pásma a poloha hrany valenčního pásu
 - + Absorpce širokého spektra záření z viditelné oblasti
 - + Chemická stabilita
 - + Dostatek materiálu a nízké výrobní náklady
 - + Neškodnost vůči životnímu prostředí



Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Tandemový fotoelektrycký článek

- Tandemový = fotolytický + 2 sériové Grätzelovy fotovoltaické články

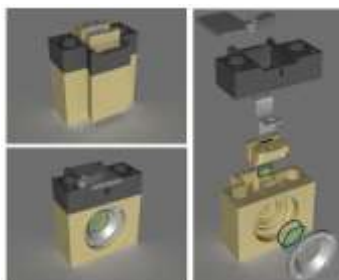


- Princip: Polopropustná nanokrytalická hematitová elektroda fotolytického článku -> absorpce modré složky bílého světla -> tvorba párů elektron-díra:
 - > díry oxidují vodu -> vývoj O_2 na hematitové elektrodě
 - > tok elektronů do fotoelektrických článků -> zvýšení jejich energie pro redukci vody -> vývoj H_2 na Pt elektrodě fotolytického článku

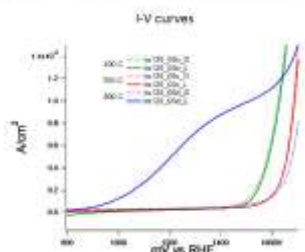
Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Měření fotokatalytické aktivity

- Měřící cela pro určení fotokatalytické aktivity



- Ovlivnění fotoelektrochemické účinnosti:
 - Tloušťka filmu
 - Porózita
 - Mezivrstva substrát-film
 - Rekombinace párů elektron-díra
 - Obsah dopantů (Si, Sn, Mo, Ti, Cr)
 - Orientace krystalů (vodivost, separace náboje)
- $\eta_{\text{teor}} = 20\%$; $\eta_{\text{exp}} = 10\%$



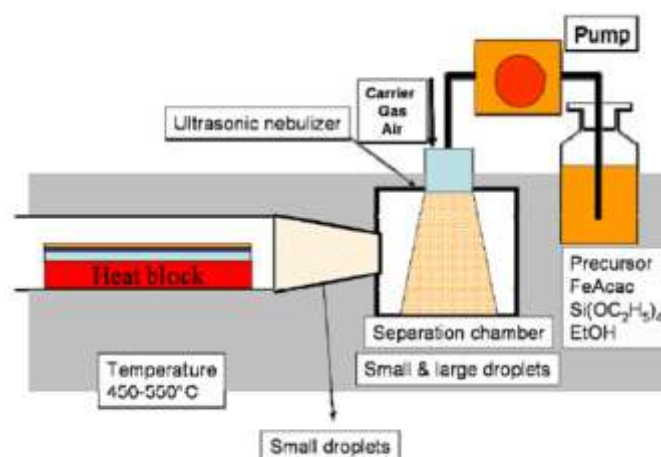
Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Metody depozice tenkých vrstev

- Ultrazvuková sprejová pyrolýza (*Ultrasonic Spray Pyrolysis, USP*)
- Tepelné chemické nanášení par (*Thermal Chemical Vapour Deposition, TCVD*)
- Rotační nanášení roztoku (*Spin Coating*)
- (Reaktivní) Magnetronové naprašování (*Magnetron Sputtering*)
- Odpařování elektronovým svazkem (*Electron Beam Evaporation*)
- Katodická elektrodepozice (*Cathodic Arc Electrodeposition*)
- Pokovování (*Plating*) – elektrolytické nebo chemické (autokatalytické)
- Nanášení pulsním laserem (*Pulsed Laser Deposition*)
- Elektroforetické povlakování (*Electrophoretic Coating*)

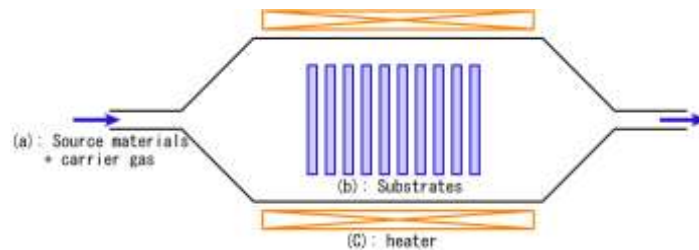
Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Ultrasonic Spray Pyrolysis (USP)



Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Thermal Chemical Vapour Deposition (TCVD)



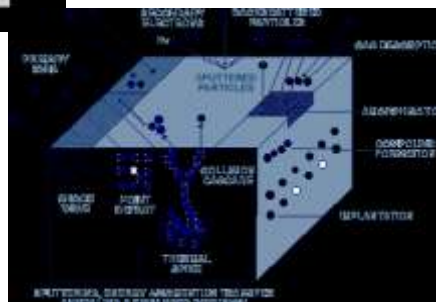
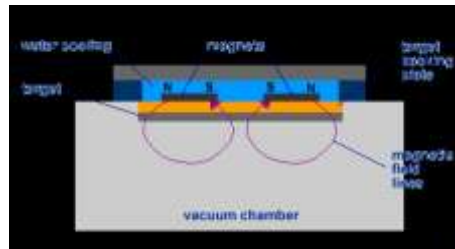
Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Rotační nanášení



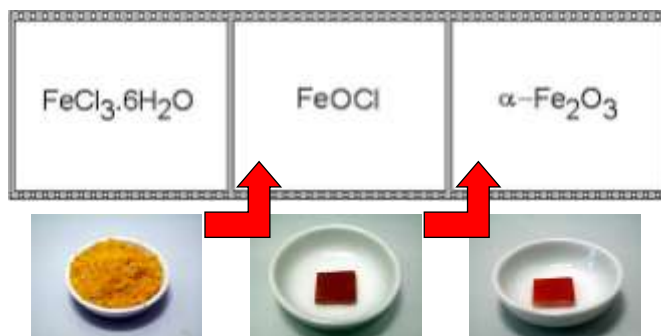
Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Magnetronové naprašování



Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

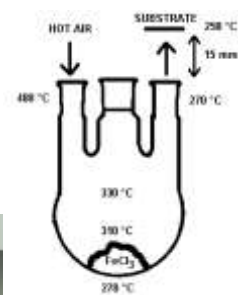
Nová metoda formování hematitového filmu



- Prekurzor: 3,5g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (tání 306 °C, var 315 °C)
- Substrát: F:SnO₂ (FTO) povlakované sklo TEC 15
- Souběžné endotermické dekompozice FeOCl:
 - $2\text{FeOCl} (\text{s}) \rightarrow 2\text{Fe} (\text{s}) + \text{Cl}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g})$
 - $3\text{FeOCl} (\text{s}) \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{s}) + \text{FeCl}_3 (\text{g})$

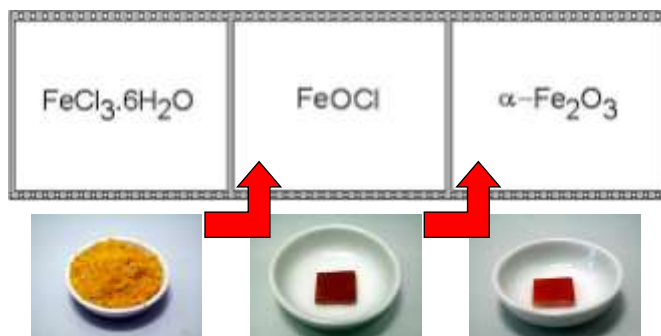
Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Napařovací aparatura (depozice FeOCl filmu)



Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Nová metoda formování hematitového filmu



- Prekurzor: 3,5g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (tání 306 °C, var 315 °C)
- Substrát: F:SnO₂ (FTO) povlakované sklo TEC 15
- Souběžné endotermické dekompozice FeOCl:
 - $2\text{FeOCl (s)} \rightarrow 2\text{Fe (s)} + \text{Cl}_2 \text{ (g)} + \text{O}_2 \text{ (g)}$
 - $3\text{FeOCl (s)} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ (s)} + \text{FeCl}_3 \text{ (g)}$

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Kalcinace FeOCl filmu ve statické atmosféře



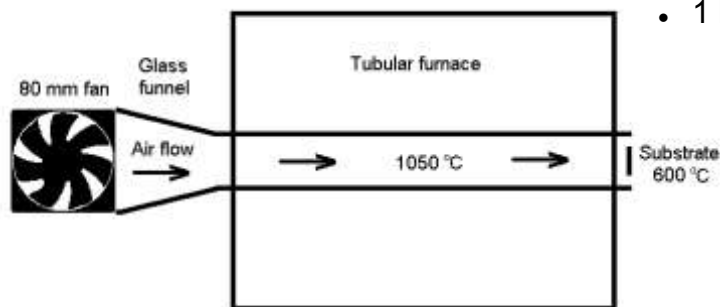
- 1000 °C
- 6 × 3,5 min



Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Kalcinace FeOCl filmu v dynamické atmosféře

- 600 °C
- 1 hodina



Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

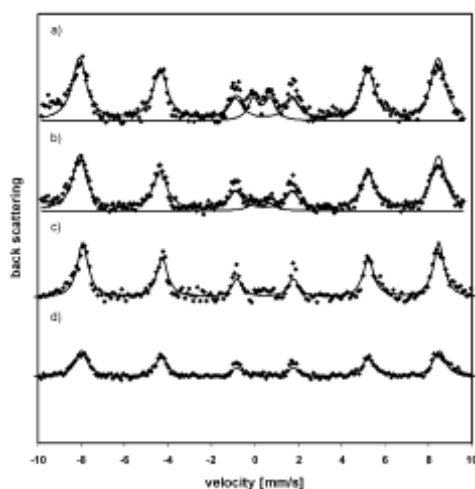
Metody pro charakterizaci tenkých vrstev



- Conversion Electron Mössbauer Spectroscopy (CEMS)
- Conversion X-ray Mössbauer Spectroscopy (CXMS)
- Grazing Incidence X-Ray Diffractometry (GAXRD)
- X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)
- μ -Raman Spectroscopy
 - analýza fázového složení
- Scanning Electron Microscopy (SEM)
 - morfologie filmu
- Energy Dispersive X-ray analysis (EDX)
 - zastoupení prvků
- Atomic Force Microscopy (AFM)
 - ocenění tloušťky filmu z vrypu a drsnosti povrchu

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

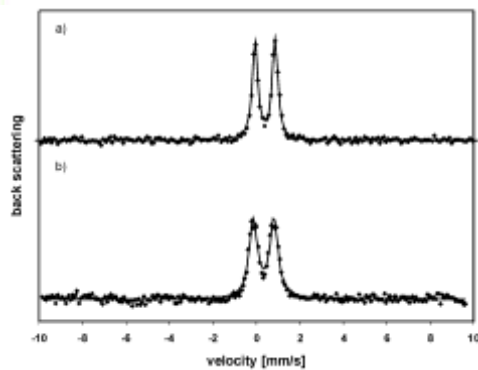
Conversion Electron Mössbauer Spectroscopy (CEMS)



- a) 90% hematit, 700 °C, 20 hod, static. atm.
- b) 96% hematit, 900 °C, 3 × 3 min, static. atm.
- c) 100% hematit, 1000 °C, 6 × 3,5 min, static. atm.
- d) 100% hematit, 600 °C, 1 × 60 min, dynamic. atm.

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

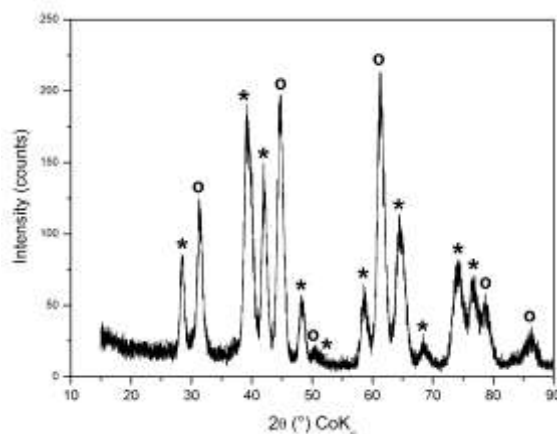
Conversion Electron Mössbauer Spectroscopy (CEMS)



- a) Nedopovaný FeOCl film (izomerní posun 0,40 mm/s).
- b) FeOCl film dopovaný cínem (izomerní posun 0,33 mm/s).

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

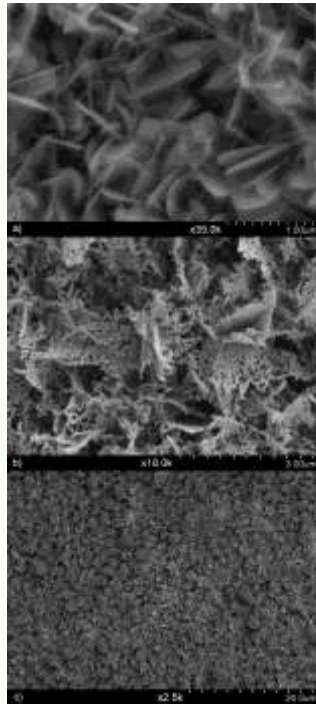
Grazing Incidence X-Ray Diffractometry (GAXRD)



- * $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$
- O SnO_2

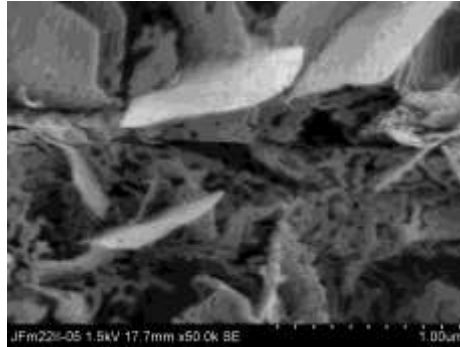
- 100% hematitový film nanesený na FTO skle. Podmínky kalcinace: 600 °C, 1 × 60 min, dynamická atmosféra.

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



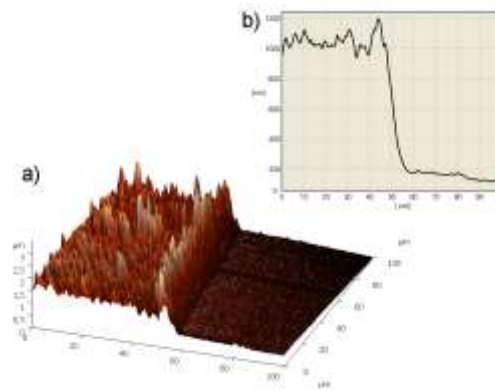
Scanning Electron Microscopy (SEM)

- a) FeOCl film s morfológií kompaktních listů.
- b) Hematitový film s porézními listy.
- c) Stejný hematitový film pod nižším zvětšením (struktura "kaktusového pole").



Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

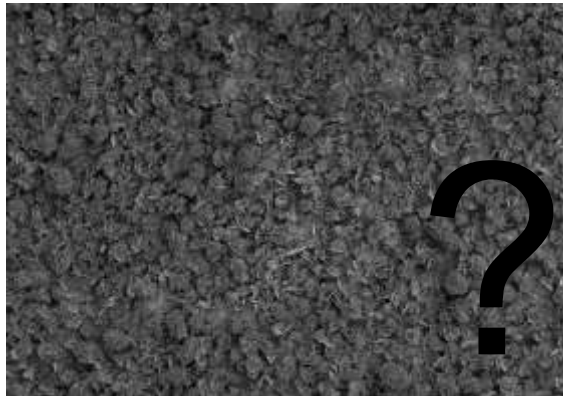
Atomic Force Microscopy (AFM)



- a) 3-D topografie hematitového filmu v místě vrypu jehlou.
- b) Průměrný profil. Tloušťka filmu je dána hloubkou vrypu (cca 800 nm).

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Prostor pro otázky a komentáře



Děkuji za pozornost

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

