



## **Středoškolská technika 2017**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **SOLÁRNÍ ČLÁNKY 3. GENERACE**

**Štěpán Příbyl**

Gymnázium J. K. Tyla

Tylovo nábřeží 682

500 02 Hradec Králové

### **Anotace**

Vývoj a výroba solárních článků 3. generace je tématikou, která je již více než 25 let velmi diskutovaná. Cílem této práce byla laboratorní příprava a charakterizace solárních článků na bázi obarveného  $\text{TiO}_2$  (tzv. dye-sensitized solar cells nebo jen DSSC).

V rámci mé práce byly připraveny čtyři sady organických článků o dvou různých tloušťkách vrstev  $\text{TiO}_2$  a za použití dvou různých barviv dostupných na trhu. Účinnosti těchto článků byly proměřeny pomocí vhodného solárního simulátoru a následně vyhodnoceny. Jako výhodnější se ukázalo využití tlustších vrstev  $\text{TiO}_2$  obarvených tmavším barvivem.

**Klíčová slova: fotovoltaika, solární články, organická barviva, oxid titaničitý**

# Abstract

The development and production of third-generation solar cells is a topic that has been extensively discussed for more than 25 years. The aim of this paper was laboratory preparation and characterization of solar cells on the basis of dyed  $\text{TiO}_2$  (*i.e.* dye-sensitized solar cells or simply DSSC).

My work entailed preparing four sets of organic cells with two different thicknesses of layers  $\text{TiO}_2$  and using two different dyes available in the market. The effectiveness of these cells was measured by dint of suitable solar simulator and subsequently assessed. What proved to be more effective was the use of thicker dark-dyed layers  $\text{TiO}_2$ .

Key words: **photovoltaics, solar cells, organic dyes, Titanium dioxide**

# **Poděkování**

Děkuji za konzultaci a poskytnutí veškerého zázemí a užitečné konzultace Dr. Ing. Janu Macákovi. Zároveň děkuji Dr. Sayantanu Dasovi za asistenci při praktické části práce a PhDr. Janě Pekařové, Ph.D. za pomoc při kompletaci práce.

# Obsah

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Teoretická část .....                       | 8  |
| 1.1   | Historie .....                              | 8  |
| 1.2   | Fotoelektrický jev .....                    | 8  |
| 1.3   | Druhy solárních článků .....                | 9  |
| 1.3.1 | První generace .....                        | 9  |
| 1.3.2 | Druhá generace .....                        | 9  |
| 1.3.3 | Třetí generace .....                        | 9  |
| 1.4   | Dye-sensitised solar cells .....            | 10 |
| 1.4.1 | Konstrukce .....                            | 10 |
| 1.4.2 | Princip .....                               | 10 |
| 1.5   | Charakteristické veličiny .....             | 10 |
| 1.5.1 | Napětí otevřeného obvodu ( $U_{OC}$ ) ..... | 10 |
| 1.5.2 | Zkratový proud ( $I_{SC}$ ) .....           | 11 |
| 1.5.3 | Faktor plnění (FF) .....                    | 11 |
| 1.6   | Lambert-Beerův zákon .....                  | 11 |
| 2     | Praktická část .....                        | 13 |
| 2.1   | Pracovní postup .....                       | 13 |
| 2.1.1 | Materiály a komponenty .....                | 13 |
| 2.1.2 | Film $TiO_2$ .....                          | 13 |
| 2.1.3 | Barvení .....                               | 14 |
| 2.1.4 | Příprava katody .....                       | 14 |
| 2.1.5 | Dokončení článku .....                      | 14 |
| 2.2   | Měření .....                                | 16 |
| 2.2.1 | Prezentace výsledků .....                   | 16 |
| 3     | Závěr .....                                 | 19 |
| 4     | Reference .....                             | 20 |
| 5     | Seznam obrázků a grafů .....                | 22 |
|       | Posudek konzultanta .....                   | 23 |
|       | Seznam příloh .....                         | 24 |

# Úvod

Fotovoltaika spadá do oblasti obnovitelných zdrojů, což je téma, o které mám zájem. V dnešní době probíhá vývoj nových typů solárních článků a články organické jsou jedny z nich. Významnou událostí pro toto odvětví bylo objevení nového typu článku, a to článku na bázi  $\text{TiO}_2$  obarveného organickým barvivem. Tento objev učinil Michael Grätzel v roce 1991 ve švýcarském Laussane.

Solární články na bázi organických barviv (dále jen DSSC) jsou články tvořené dvěma elektrodami, kdy anodou je obarvená vrstva  $\text{TiO}_2$  a katodou je vrstva platiny nebo uhlíku, přičemž obě tyto elektrody jsou vodivě spojeny elektrolytem. Při osvětlení článku barvivo zachytí foton a excituje se, čímž uvolní elektron, který se přenesení skrz vrstvu  $\text{TiO}_2$  do obvodu – vzniká elektrický proud. Regenerace barviva proběhne přes elektrolyt, který redukuje oxidované barvivo a jeden celý funkční cyklus článku se uzavírá a následuje další. DSSC jsou na rozdíl od klasických křemíkových článků průhledné, což je činí zajímavé z hlediska estetického a architektonického využití. Příznivý pro ně je i poměr výkonu a výrobní ceny, zejména pro geografické oblasti s nižším osvětlením.

Díky výrobě těchto článků jsem se v první řadě seznámil s prostředím chemických laboratoří a také si osvojil problematiku přípravy a měření solárních článků.

# 1 Teoretická část

## 1.1 Historie

Na počátku rozvoje fotovoltaiky stálo objevení fotoelektrického jevu. O tento objev se postaral již francouzský vědec Alexander Edmond Becquerel v roce 1839. Při zkoumání zpozoroval změny procházejícího elektrického proudu mezi dvěma elektrodami ponořenými v elektrolytu při různých hladinách osvětlení. Již v roce 1877 se W. G. Adams a R. E. Day zasloužili o vytvoření prvního solárního článku. Jednalo se o článek v tuhé fázi bez elektrolytu, jehož základ tvořil selen a platina, s velmi malou účinností. Dalším experimentem byl článek Ch. Frittsa, jehož selenový článek opět nedosáhl nijak velké účinnosti (méně než 1%), ovšem jeho články již bylo možno vyrábět hromadně. K tomu, pochopitelně, kvůli nízké účinnosti a vysokým nákladům nedošlo.

Negativní efekt na vývoj solárních článků ve 2. polovině 19. století měl fakt, že doposud nebylo objasněno, jakým způsobem napětí na článcích vzniká. Až s příchodem Planckovy kvantové teorie a navazujícími objevy (např. Roberta Andrewse Millikana nebo Alberta Einsteina) se podařilo fyziku fotoelektrického jevu popsat. Jeden ze zásadních objevů se udál v roce 1905, kdy právě Albert Einstein na základě kvantové teorie popsal závislost uvolněných elektronů na proporcích dopadajícího záření - energie elektronu závisí na frekvenci záření a počet elektronů na intenzitě záření. Tato teorie byla zpočátku vědeckou populací zavržována, nýbrž později uznána. Vedle teorií objasňujících fyzikální principy přišel ještě jeden významný objev. Jednalo se o objev efektivní metody výroby monokrystalu křemíku, tzv. Czochralského metody, z roku 1916. Jejím autorem byl významný polský chemik Jan Czochralski. Metoda spočívá v růstu krystalů za účelem získání jednotlivých krystalů polovodičů, kovů, solí a drahokamů z taveniny. Tato metoda se uplatňuje v dnešní době zejména k výrobě křemíkových ingotů, které se dále používají zejména v polovodičích. [1]

Vývoj fotovoltaiky se v meziválečné době z důvodu jiných priorit pozastavil. Ovšem již v roce 1940 Russel Shoemaker Ohl přišel s novým křemíkovým solárním článkem s účinností kolem 1%. Tento článek se také zatím nedočkal praktického využití. Po konci války se začaly vyostřovat závody ve zbrojení a technickém pokroku mezi SSSR a USA. Díky tomu se do vědy začalo ve velkém investovat. V rámci technického pokroku započal i vesmírný program. Objevila se poptávka po zdroji energie ve vesmíru. Fotočlánky byly velice vhodným zdrojem, proto mnoho investic směřovalo právě do fotovoltaiky. V roce 1954 vyvinuly americké Bellovy laboratoře nový článek. Tento křemíkový fotočlánek se pyšnil již účinností 6% a byl využit jako zdroj energie na kosmických družicích v rámci amerického vesmírného programu v roce 1958.

Pro svoji vysokou cenu se ani tyto účinné články nepoužívaly v běžném provozu. Ovšem s příchodem ropné krize v 70. letech zažila fotovoltaika další vlnu vývoje. Fotočlánky byly zdokonalovány a s rozšířením křemíkových technologií (díky příchodu mikročipů) i klesala jejich cena. Proto se jich začalo omezeně využívat i v běžném provozu, především tedy na odlehlých místech bez zdroje elektrické energie, protože nepotřebují obsluhu ani palivo. Dnes fotovoltaika zažívá bouřlivý rozvoj a využití i díky objevům nových typů článků a rozšíření křemíkových technologií. [2, 3]

## 1.2 Fotoelektrický jev

Princip křemíkových fotovoltaických článků je založen na fotoelektrickém jevu, což je fyzikální jev, při kterém jsou při dopadajícím elektromagnetickém záření z látky (kovu) uvolňovány elektrony. Uvolněný elektron po sobě zanechá tzv. díru, která, podobně jako kladná

částice, elektrony přitahuje. Proto dochází k tzv. rekombinaci, kdy uvolněné elektrony zaplní vzniklou díru a svoji energii uvolní ve formě tepla. Pro využití energie uvolněného elektronu je třeba ho oddělit od vzniklých děr tak, aby byl přenesen do vnějšího obvodu a vydal svoji energii ve formě užitečné práce. Pro oddělení se dá využít PN přechodu, což je základ solárních článků první generace. [2, 4]

## 1.3 Druhy solárních článků

Solární články se podle technologie výroby a sfér využití rozdělují do třech generací.

### 1.3.1 První generace

Solární články první generace jsou články, které se vyrábí z destiček tvořených monokrystalem křemíku. V těchto destičkách vzniká plošný PN přechod, který brání rekombinaci volných elektronů, jež byly uvolněny díky fotoelektrickému jevu. Elektrony jsou přeneseny po elektrodě do obvodu za vzniku elektrického proudu. Tento typ se vyznačuje vysokou účinností a stabilitou výkonu. V současné době se jedná o nejrozšířenější typ solárních článků, který je ve velkém měřítku používán na stacionárních instalacích fotovoltaických elektráren různých výkonu v ČR a zahraničí. [2, 5] V souvislosti s nárůstem výrobní kapacity těchto článků, zejména díky čínským výrobcům, výrobní cena tohoto typu článku neustále klesá. [6]

### 1.3.2 Druhá generace

Druhá generace solárních článků se vyznačuje především menší spotřebou velmi čistého a tedy nákladně vyrobeného křemíku a zaměřuje se spíše na tenkovrstvé solární články z amorfního křemíku. Tyto články již nedosahují takových účinností a stability, jako články předchozí generace, ale náklady na jejich výrobu jsou, v porovnání s předchozí generací, menší. Výhodou těchto článků je určitě možnost různých aplikací, např. rozvoj tenkovrstvých článků, které se mohou stát součástí oblečení apod. [2, 5]

### 1.3.3 Třetí generace

Třetí generace solárních článků se vyznačuje využitím jiných než křemíkových materiálů. Tyto články již k separaci elektronů nevyužívají PN přechod. Jedná se o tenkovrstvé články, které fungují na základě nanokrystalických anorganických struktur (v podobě tyčinek, trubiček či kvantových teček z uhlíku či  $\text{TiO}_2$ ) [5, 6] nebo organických struktur [7], nebo jejich kombinací (jedná se zejména o perovskitové solární články [8], které zažívají od roku 2013 obrovský rozmach)

Při mé laboratorní práci jsem se zabýval laboratorní přípravou hybridních solárních článků na bázi obarveného, vysoce porézního, nanokrystalického  $\text{TiO}_2$ . V angličtině se tento typ článků označuje jako tzv. Dye-Sensitised Solar Cells - DSSC. Tyto články mají velikou výhodu především v jejich vzhledu. Jsou průhledné a tak se dají využít pro mnoho architektonicky unikátních instalací. Např. École polytechnique fédérale ve švýcarském Lausanne, kde byl tento typ článku objeven, se pyšní budovou s prosklenou fasádou právě z těchto článků [9]. Nejen vzhled, ale i poměr výkon/cena je velmi příznivý, neboť použité materiály jsou, ve srovnání s monokrystalem křemíku, poměrně levné.

Obrázek 1: Prosklená fasáda, EPFL



Zdroj: <https://actu.epfl.ch/news/epfl-s-campus-has-the-world-s-first-solar-window/>

## 1.4 Dye-sensitised solar cells

### 1.4.1 Konstrukce

Tyto články se skládají ze dvou sklíček s vodivou vrstvou ITO (indium doped tin oxide; oxid cíničitý, dopovaný indiem), dále z ultrajemného, vysoce porézního, nanokrystalického  $\text{TiO}_2$ , který je natištěn na jednom ze sklíček a napuštěn komplexním organokovovým barvivem. Na druhém ze sklíček je nanosena tenká uhlíková vrstva. Sklíčka jsou spojena vodivými vrstvami k sobě a šterbinu mezi nimi vyplňuje elektrolyt. [10, 11]. V současnosti dosahují účinnosti laboratorních DSSC článků více jak 13% účinnosti [12]. Poslední vývoj této technologie také směřuje k tisku na vodivé polymerní fólie, které jsou do určité míry ohebné – tento aspekt tak rozšiřuje aplikační použití tohoto typu solárního článku [13].

### 1.4.2 Princip

Při osvětlení článku předá záření určitou energii barvivu, které je napuštěno v  $\text{TiO}_2$ . Barvivo oxiduje a uvolní elektrony, které jsou svedeny vrstvou  $\text{TiO}_2$  na elektrodu a následně do obvodu; vzniká elektrický proud (zde elektron předá svoji energii spotřebiči). Oxidované barvivo je regenerováno přes elektrolyt a je připraveno absorbovat další fotony. Elektrony jsou přes katodu předány zpátky elektrolytu a cyklus se uzavírá. [10-13].

## 1.5 Charakteristické veličiny

Při testování solárních článků se k vyjádření kvality a vlastností článků měří především charakteristické veličiny, kterými jsou: napětí otevřeného obvodu, zkratový proud a faktor plnění.

### 1.5.1 Napětí otevřeného obvodu ( $U_{oc}$ )

Napětí otevřeného obvodu je napětí, které je měřené na elektrodách solárního článku při nulovém proudu. Jedná se o maximální napětí, které je článek schopen vygenerovat.



## 1.5.2 Zkratový proud ( $I_{sc}$ )

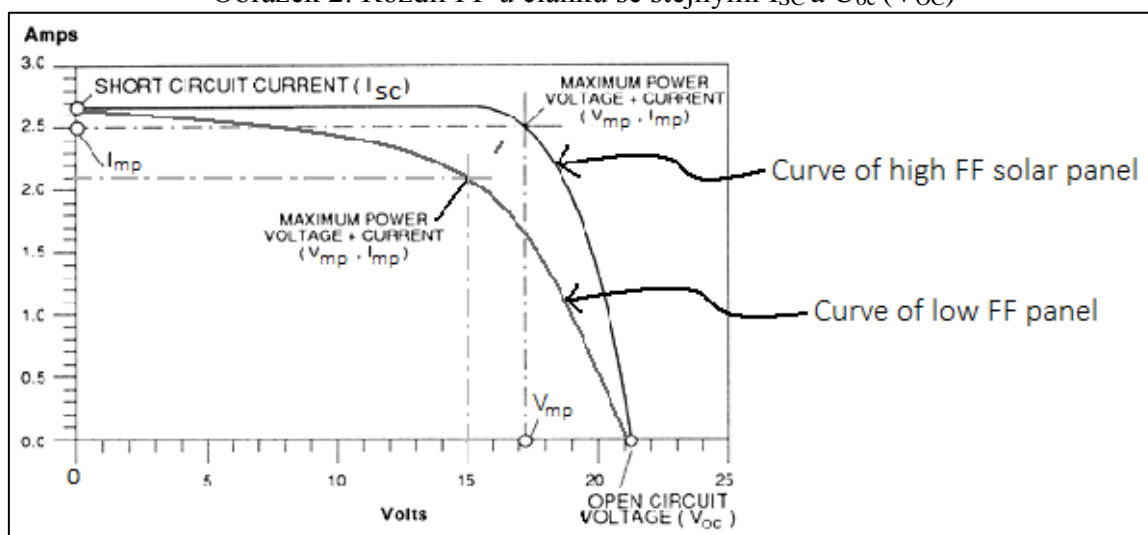
Zkratový proud vznikne při zkratu článku, to znamená, když napětí na elektrodách článku je nulové. Na obrázku č. 2 je  $I_{sc}$  (i  $U_{oc}$ ) názorně zakreslen ve voltampérové křivce.

## 1.5.3 Faktor plnění (FF)

Faktor plnění je geometrické číslo, které také charakterizuje vlastnosti solárního článku. Jedná se o poměr maximálního výkonu článku (na obrázku č. 2 je znázorněn jako obdélník z bodu, označeného jako „maximum power“) a ideálního výkonu článku. Ideální výkon získáme součinem zkratového proudu ( $I_{sc}$ ) a napětí otevřeného obvodu ( $U_{oc}$ ). [14]

Na obrázku č. 2 můžeme vidět graf závislosti proudu na napětí článku a v něm voltampérovou charakteristiku (jinak také i-V křivku), která je charakteristickým výstupem testování článků. V tomto konkrétním grafu se nachází křivky dvou článků se stejnými naměřenými hodnotami zkratového proudu ( $I_{sc}$ ) a napětí otevřeného obvodu ( $U_{oc}$ ), které se liší svými faktory plnění (FF). Z toho plyne, že vynecháním faktoru plnění (FF) charakteristika tedy nevypovídá přesně o možných výkonech, kterých je článek schopen dosáhnout.

Obrázek 2: Rozdíl FF u článků se stejnými  $I_{sc}$  a  $U_{oc}$  ( $V_{oc}$ )



Zdroj: <http://www.solarfreaks.com/what-is-the-fill-factor-of-a-solar-panel-t138.html>

## 1.6 Lambert-Beerův zákon

Lambert-Beerův zákon charakterizuje průchod paprsků monochromatické zářivé energie ( $\Phi_0$ ) vrstvou homogenního prostředí. Při průchodu „...se část toku paprsků absorbuje, další jeho část z prostředí vychází ( $\Phi_1$ ) a nepatrná část se na rozhraních prostředí odráží.“ [15] Velikost absorpce ( $A$ ) závisí na síle homogenního prostředí ( $l$ ), koncentraci ( $c$ ) a molárním dekadickém absorpčním koeficientu ( $\epsilon$ ), který charakterizuje prostředí v závislosti na podmínkách měření.

Ze základní definice Lambert-Beerova zákona vychází vztah (1), nýbrž platí pouze pro 1 absorbující složku. Vztah (2) platí pro prostředí (roztok) o více složkách. [15]

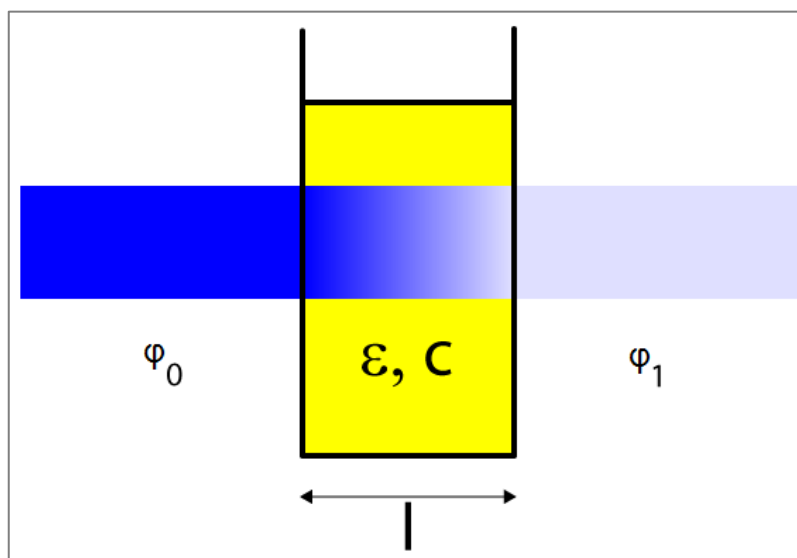
$$A = \epsilon c l \quad (1)$$

$$A = l \sum_{i=1}^n \epsilon_i c_i \quad (2)$$

Tento vztah podléhá mnoha odchylkám při aplikacích. Podmínkou platnosti je totiž např. dostatečně monochromatické záření, chemická a tepelná rovnováha apod. [15]

Lambert-Beerova zákona se využívá u mnohých analytických metod, např. spektrometrie či fotometrie. Při této práci jsem se setkal s grafem závislosti absorpce prostředí (barviva) ( $A$ ) na vlnové délce, která je jednou ze složek molárního dekadického absorpčního koeficientu ( $\epsilon$ ) absorpčního prostředí. Tohoto grafu se využívá např. právě při výběru funkčních barviv do organických článků, či do aktivních nátěrů, aby hodnoty absorpce dosahovaly vysokých hodnot podle podmínek, ve kterých budou fungovat.

Obrázek 3: Schéma průchodu záření prostředím



Zdroj: <http://www.intechopen.com/books/electrophoresis/numerical-modelling-of-light-propagation-for-development-of-capillary-electrophoretic-and-photochemi>

Graf závislosti absorpce ( $A$ ) na vlnové délce ( $\lambda$ ) se tedy dá využít pro určení tzv. *absorpčního maxima* daného prostředí (barviva), což je vlnová délka, při které dané prostředí (barvivo) pohlcuje největší množství záření. Absorpce při této vlnové délce dosahuje největší hodnoty, proto se při reprezentativním měření výkonu různých zařízení s fotoaktivními plochami měří především hodnoty pro vlnovou délku absorpčního maxima daného prostředí (barviva).

## 2 Praktická část

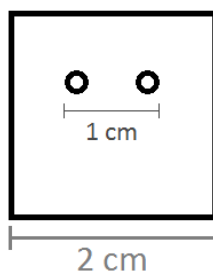
### 2.1 Pracovní postup

#### 2.1.1 Materiály a komponenty

Pro výrobu článku bylo zapotřebí si připravit:

1. **Dvě vodivá čtvercová sklíčka** ve tvaru čtverce o straně 2 cm, z nichž jedno bylo speciálně upraveno. Byly do něj vyvrtány dva otvory o průměru přibližně 1 mm pro snazší nanášení elektrolytu podle schématu na obrázku č. 4.

Obrázek 4: Schéma upraveného sklíčka



Zdroj: vlastní zpracování

Před započítím všech prací s vodivými sklíčky musela být nejprve sklíčka vyčištěna pomocí isopropanolu (pro odstranění mastných nečistot) a ultrazvukové čističky (pro odstranění drobných částecek, zejména drobných střípků).

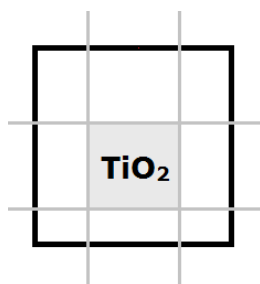
2. **Suspenze  $\text{TiO}_2$**  – použil jsem  **$\text{TiO}_2$  suspenzi *Ti Nanoxide T/SP*** od společnosti Solaronix. Podrobnosti jsou k nalezení v příloze 1.
3. **Organické barvivo** - Pro výrobu článku byla použita 2 komerčně dostupná barviva. Konkrétně to byla barviva *Ruthenizer 535-bisTBA* [příloha 2] a *Sensidizer RK1* [příloha 3] od společnosti Solaronix.
4. **Obyčejná tužka** pro vytvoření uhlíkové elektrody.
5. **Elektrolyt** - Jako elektrolyt byl použit *EL-HPE High Performance Electrolyte* [příloha 4] společnosti Dyesol. Obsahuje redoxní dvojici  $\text{I}_3^-/\text{I}^-$ .
6. **Rámečky z polymerní tmelové fólie** - použité při jedné z metod výroby článku pro zadržení elektrolytu. Jedná se o rámečky z fólie *Surlyn* [příloha 5] společnosti Dyesol.

#### 2.1.2 Film $\text{TiO}_2$

Vyčištěné, nepovrtné sklíčko jsem pomocí kleští se speciálním povrchem přenesl na pevný podklad (Petriho miska) a měřením elektrického odporu (pomocí digitálního multimetru) zjistil, jaká z jeho stran je vodivá. Poté jsem ho položil vodivou stranou vzhůru a přelepil ho čtyřmi proužky lepicí pásky přes hrany tak, aby kousek od středu sklíčka vznikl holý čtvereček (o straně přibližně 1 cm), viz obrázek č. 5.

Nyní jsem si připravil suspenzi  $\text{TiO}_2$ , kterou jsem pomocí tyčinky nanесl na vzniklý čtvereček a následně roztáhl pomocí tyčinky (položené horizontálně) tak, aby vznikla souvislá vrstva. Díky lepicí pásce se vytvořila vrstva o rovnoměrné tloušťce. Po nanesení suspenze jsem nechal vrstvu krátce zaschnout.

Obrázek 5: Přelesené sklíčko s TiO<sub>2</sub>



Zdroj: Vlastní zpracování

Dalším krokem k dokončení filmu TiO<sub>2</sub> bylo spékání. Po odstranění lepicí pásky jsem sklíčko umístil do Petriho misky a vložil do pece, rozehráté na 400° C. Vrstva byla spékána po dobu 1 hodiny a následně nechána vystydnout.

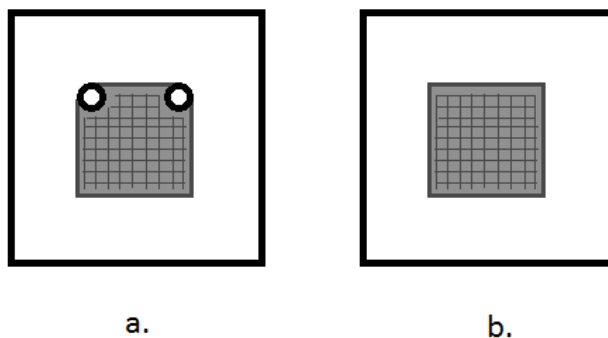
### 2.1.3 Barvení

Po dokončení spékání jsem vystydlé sklíčko vložil vrstvou TiO<sub>2</sub> vzhůru do menší, čisté Petriho misky a připravil si roztok barviva v bezvodém methanolu. Roztok jsem nalil do Petriho misky ke sklíčku, misku přikryl víčkem a vzduchotěsně uzavřel pomocí těsnící pásky [příloha 6]. Takto uzavřenou Petriho misku jsem vložil do exsikátoru a ponechal barvivo na vrstvu TiO<sub>2</sub> chemicky navázat po dobu 24 hodin. Po uplynutí této doby jsem sklíčka opláchl bezvodým methanolem s cílem odstranit zbytky nenavázaného barviva.

### 2.1.4 Příprava katody

K přípravě katody bylo zapotřebí si připravit obyčejnou tužku (jejíž tuha obsahuje vodivý uhlíkový grafit) a druhé vodivé sklíčko. Po zjištění vodivé strany jsem sklíčko položil na pevný podklad vodivou vrstvou vzhůru. Pomocí obyčejné tužky jsem ke středu sklíčka „nakreslil“ grafitový čtverec (viz obrázek 6). Pro maximální pokrytí jsem nejdříve tužkou kreslil v horizontálním a následně vertikálním směru.

Obrázek 6: Uhlíková katoda



Zdroj: vlastní zpracování

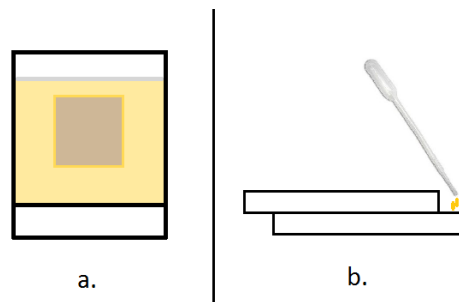
### 2.1.5 Dokončení článku

V průběhu výroby jsem pro závěrečné sestavení článku použil dva různé postupy:

1. **Bez rámečku** – Tento způsob byl praktikován jako první. Při tomto postupu nebyly potřeba provrtané otvory na katodové straně článku. Celou výrobu jsem tedy provedl s dvěma stejnými sklíčky. Postupoval jsem tak, že jsem sklíčka přiložil vrstvou obarveného TiO<sub>2</sub> a grafitovou vrstvou na sebe, a pevně jsem je spojil kovovými svorkami. Jelikož byla plocha oxidové vrstvy lehce

odkloněná od středu sklíčka, vznikly přiložením sklíček na sebe úzké plochy, kde se sklíčka nepřekrývala (viz obrázek 7).

Obrázek 7: Přiložení sklíček a aplikace elektrolytu

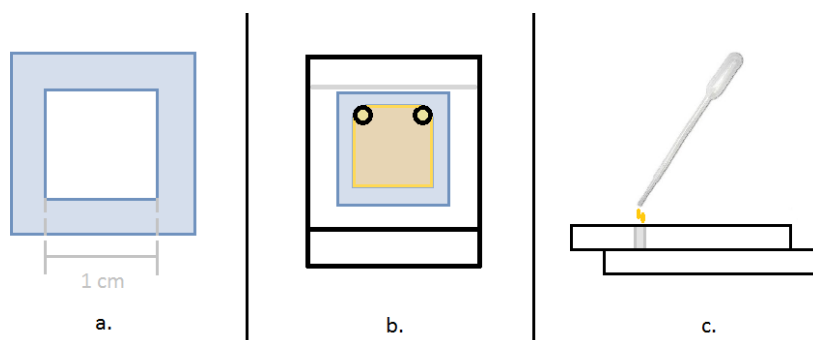


Zdroj: vlastní zpracování

Po přiložení sklíček na sebe jsem pomocí pipety nanесl několik kapek elektrolytu ke hraně kontaktu sklíček. Elektrolyt se díky kapilárním silám vpil mezi sklíčka a tvořil kontakt obou vrstev.

- S rámečkem** - Jedná se o modifikaci způsobu bez rámečku pro zamezení úniku elektrolytu mimo aktivní vrstvy. Katodové sklíčko (viz obr. 6a) v sobě mělo vyvrtány 2 otvory. Závěrečný krok byl proveden tak, že jsem použil čtvercový rámeček z tmelové fólie s vnitřní hranou 1 cm (viz obr. 8a). Rámeček jsem přiložil na vodivou stranu katodového sklíčka (tedy sklíčka s uhlíkovou vrstvou a otvory) tak, aby ohraničoval uhlíkovou vrstvu (obr. 8b). Sklíčko s přiloženým rámečkem jsem vložil do pece rozehřáté na 100°C. Fólie se, díky své nízké teplotě tání, lehce roztavila a přichytila na povrch sklíčka. Po vytažení z pece jsem sklíčka okamžitě přiložil na sebe tak, aby obě aktivní vrstvy byly v kontaktu a rámeček mezi sklíčky (viz obr. 8b). Předpoklad byl, že rámeček udrží články pohromadě. To se ukázalo jako nespolehlivé, proto jsem musel články fixovat pomocí svorek, stejně jako u předchozího postupu. K této fixaci je nutné podotknout, že v průmyslovém měřítku je řešena řádným soutiskem pomocí vhodného zařízení při přesně definovaných podmínkách, které vedou k pevnému a trvalému spoji. Elektrolyt jsem posléze aplikoval pomocí pipety skrz vyvrtané otvory v katodovém sklíčku (viz obr. 8c).

Obrázek 8: Dokončení článku pomocí rámečku z tmelové fólie



Zdroj: Vlastní zpracování

## 2.2 Měření

Při praktické části práce bylo zhotoveno celkem 6 sérií solárních článků, které se lišily tloušťkou vrstev TiO<sub>2</sub>. Každá ze sérií obsahovala 4 články, které obsahovaly různá funkční barviva. Po zhotovení byly články testovány pomocí solárního simulátoru. Pro testování bylo použito monochromatické světlo o různých vlnových délkách a konstantní intenzitě. Měřením charakteristických hodnot, určujících výkon článků, jsem měl možnost porovnat nejen kvalitu různých barviv, ale i jednotlivé metody sestavení článku, závislost výkonu na vlnové délce ve vztahu k absorpčnímu maximu barviv nebo na tloušťce vrstvy TiO<sub>2</sub>.

Tabulka 1: Dostupné výsledky

| Vlnová délka záření | Tloušťka vrstvy TiO <sub>2</sub> |           |
|---------------------|----------------------------------|-----------|
|                     | 0,7 μm                           | 1,5 μm    |
| 470 nm              | RK1, Ref.*                       | RK1, Ref. |
| 530 nm              | RK1, Ref.                        | RK1, Ref. |
| 627 nm              | ---                              | RK1, Ref. |

\* RK1 - barvivo Sensidizer RK1; Ref. - barvivo *Ruthenizer 535-bisTBA*

Ukázku naměřených dat můžete nalézt v příloze č. 7. Veškerá reprezentativní naměřená data jsou k dispozici na přiloženém CD nosiči.

V závěru práce byly zhotoveny i snímky kolmého řezu anodou článku, kde je zřetelně viditelná vrstva TiO<sub>2</sub>. Tyto snímky se nachází v příloze č. 8.

### 2.2.1 Prezentace výsledků

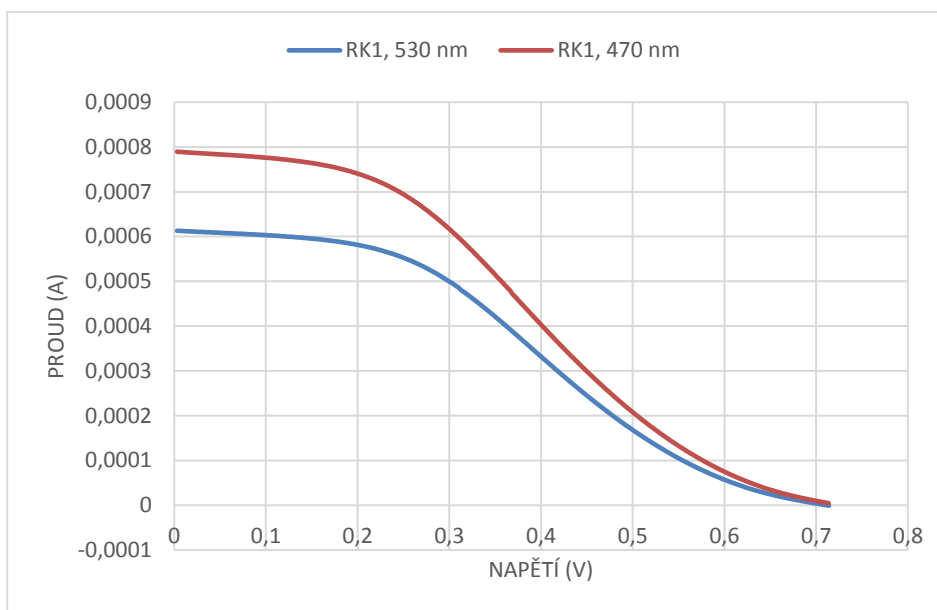
1. Porovnání charakteristických křivek jednoho článku při různých vlnových délkách záření.

V následujícím grafu č. 1 figurují dvě křivky, které byly naměřeny pro článek s vrstvou TiO<sub>2</sub> o tloušťce 1,5 μm a barvivem *Sensidizer RK1* při vlnových délkách 470 nm a 530 nm. Hodnota absorpce článku se při různých vlnových délkách liší, což se projevuje právě v grafu závislosti absorpce (A) na vlnové délce (λ).

Z grafu č. 1 tedy jasně vyplývá, že barvivo *Sensidizer RK1* absorbuje větší množství světelného toku při vlnové délce 470 nm, než při 530 nm. Napětí otevřeného obvodu se neliší. Ovšem zkratový proud je při 470 nm téměř o více než 28% vyšší než při 530 nm.

Pro barvivo *Ruthenizer 535-bisTBA* naopak platí, že vyšší absorpce dosahuje při 530 nm.

Graf 1: Charakteristické křivky při různých vlnových délkách

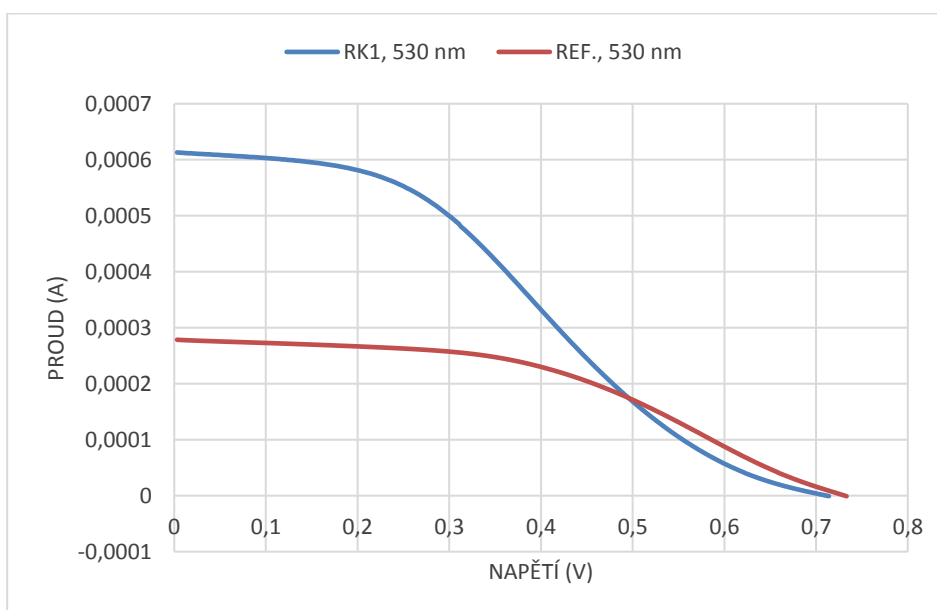


2. Porovnání charakteristických křivek dvou článků se stejnou vrstvou  $\text{TiO}_2$ , ale s jinými barvivy, při stejné vlnové délce.

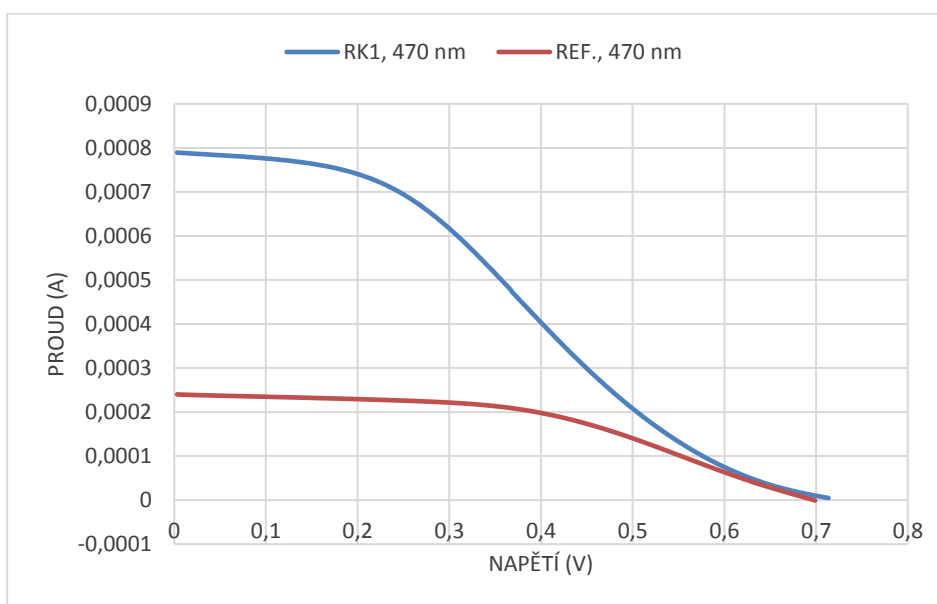
V následujícím grafu č. 2 figurují dvě křivky, které byly naměřeny pro články s vrstvou  $\text{TiO}_2$  o tloušťce  $1,5 \mu\text{m}$ . V jednom článku bylo použito barvivo *Sensidizer RK1* a v druhém barvivo *Ruthenizer 535-bisTBA*. Pro měření bylo použito monochromatické záření o vlnové délce  $530 \text{ nm}$ .

Z grafu č. 3 lze zřetelně vyčíst vliv vlnové délky na výsledky měření. Tento graf charakterizuje stejné články, nýbrž při vlnové délce  $470 \text{ nm}$ . Již poměr hodnot zkratového proudu, ale i faktor plnění i výkon se rapidně změnili.

Graf 2: Charakteristické křivky článků s různými barvivy



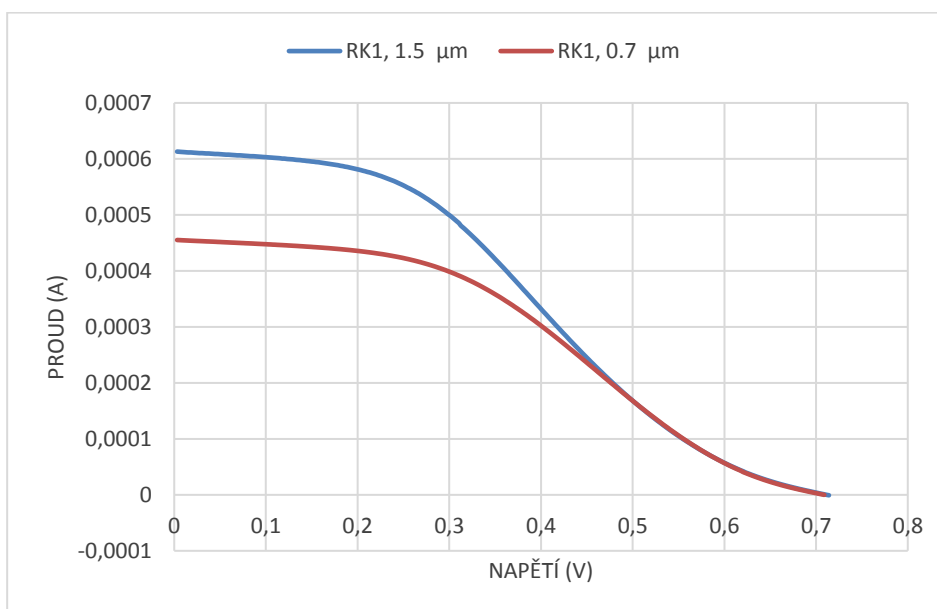
Graf 3: Charakteristické křivky článků s různými barvivy



3. Porovnání dvou článků se stejnými barvivy, ale rozdílnou tloušťkou vrstvy  $\text{TiO}_2$ , při stejných vlnových délkách.

V následujícím grafu č. 4 figurují křivky dvou článků obsahujících barvivo *Sensidizer RK1*, při čemž jeden z článků má  $\text{TiO}_2$  vrstvu o tloušťce  $0,7 \mu\text{m}$  a druhý z nich vrstvu o tloušťce  $1,5 \mu\text{m}$ . Měřeno při vlnové délce  $530 \text{ nm}$ . Z grafu jasně vyplývá, že silnější vrstva  $\text{TiO}_2$  byla zásadně vhodnější pro dosažení lepších konverzních účinností.

Graf 4: Charakteristické křivky při různých tloušťkách  $\text{TiO}_2$





### 3 Závěr

Cílem práce bylo sestavit několik sad solárních článků za použití různých organických barviv a vrstev mesoporézního  $\text{TiO}_2$  o různých tloušťkách a měřením následně získat data pro charakterizaci jejich výkonu. Při práci byly též vyzkoušeny různé způsoby sestavení článku pro dosažení lepších výsledků.

Testováním různých způsobů sestavení článku vyplynulo, že nejspolehlivěji se jeví články, které obsahují rámeček z tmelové fólie a jsou navíc fixovány svorkami pro pevnější stavbu. V takových člancích se dařilo eliminovat množství elektrolytu rozšířeného mimo aktivní vrstvu na minimum.

Ukázalo se, že články se silnější vrstvou  $\text{TiO}_2$  vykazují vyšší hodnoty výkonu, což je zřejmé z grafu č. 3. Dále též vyplynulo, že barvivo *Sensidizer RK1* vykazuje vyšší výkon při 470 nm než při 530 nm. Pro barvivo *Ruthenizer 535-bisTBA* to platí naopak. O těchto faktech vypovídají data na CD nosiči.

Přední vědecké výzkumy ovšem v posledních letech odklonily svoji pozornost od těchto průhledných článků z důvodu nestability elektrolytu, což je pro použití článků v praxi nevhodné. Proběhly různé pokusy o nahrazení elektrolytu, ale ideální náhrada nalezena zatím nebyla. Nejúspěšnější alternativou zatím byly perovskitové články, které jsou kvůli přítomnosti olova v aktivní ploše nevhodné pro životní prostředí [8]. Existují tedy snahy o nalezení stabilnějšího a účinnějšího elektrolytu, což by mohlo přinést velký pokrok ve světě fotovoltaiky.

## 4 Reference

- [1] Czochralski process. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 - [cit. 2016-12-14]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Czochralski\\_process](https://en.wikipedia.org/wiki/Czochralski_process)
- [2] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika: elektřina ze slunce*. 2. vyd. Praha: EkoWATT, 2008. 21. století. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [3] BECHNÍK, Bronislav. *Stručná historie fotovoltaiky*. In: *TZB-info* [online]. Praha, c2001-2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [4] ŠTOLL, Ivan. *Fyzika pro gymnázia: fyzika mikrosvěta*. 2. vyd. Praha: Prometheus, 1994. Učebnice pro střední školy. ISBN 80-85849-48-8.
- [5] Solar cell. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell)
- [6] Photovoltaic Status Report 2014, JRC, 26990 EN, European Commission}, <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC92477/pv%20status%20report%202014%20online.pdf>
- [7] <http://www.heliatek.de/en/heliafilm/technology>
- [8] KOJIMA, Akihiro; TESHIMA, Kenjiro; SHIRAI, Yasuo; MIYASAKA, Tsutomu (May 6, 2009). "Organometal Halide Perovskites as Visible-Light Sensitizers for Photovoltaic Cells". *Journal of the American Chemical Society*. **131** (17): 6050–6051.
- [9] <https://actu.epfl.ch/news/epfl-s-campus-has-the-world-s-first-solar-window/>
- [10] O'REGAN, Brian; GRÄTZEL, Michael (24 October 1991). "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films". *Nature*. **353** (6346): 737–740
- [11] GRÄTZEL, Michael (2003). "Dye-sensitized solar cells" (PDF). *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. **4** (2): 145–153.
- [12] MATHEW, Simon, Aswani YELLA, Pen GAO, et al. Dye-sensitized solar cells with 13% efficiency achieved through the molecular engineering of porphyrin sensitizers. *Nature Chemistry* [online]. **2014**(6): 242 - 247 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://www.nature.com/nchem/journal/v6/n3/full/nchem.1861.html>
- [13] <http://gcell.com/dye-sensitized-solar-cells/advantages-of-dscc/flexible-solar-cells>
- [14] TRUKHANOV, Vasily A.; BRUEVICH, Vladimir V.; PARASCHUK, Dmitry Yu. (June 22, 2015). Fill factor in organic solar cells can exceed the Shockley-Queisser limit. *Scientific*

*Reports* [online]. **5**, 11478 [cit. 2016-12-04]. DOI: 10.1038/srep11478. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/srep11478>

- [15] MALÁT, Miroslav. *Absorpční anorganická fotometrie*. Praha: Academia, 1973, 894 s.

## 5 Seznam obrázků a grafů

|  |     |
|--|-----|
| OBRÁZEK 1: PROSKLENÁ FASÁDA, EPFL .....                              | 10  |
| OBRÁZEK 2: ROZDÍL FF U ČLÁNKŮ SE STEJNÝMI $I_{sc}$ A $U_{oc}$ .....  | 111 |
| OBRÁZEK 3: SCHÉMA PRŮCHODU ZÁŘENÍ PROSTŘEDÍM .....                   | 122 |
| OBRÁZEK 4: SCHÉMA UPRAVENÉHO SKLÍČKA.....                            | 133 |
| OBRÁZEK 5: PŘELEPENÉ SKLÍČKO S $TiO_2$ .....                         | 144 |
| OBRÁZEK 6: UHLÍKOVÁ KATODA .....                                     | 144 |
| OBRÁZEK 7: PŘILOŽENÍ SKLÍČEK A APLIKACE ELEKTROLYTU.....             | 155 |
| OBRÁZEK 8: DOKONČENÍ ČLÁNKU POMOCÍ RÁMEČKU Z TMELOVÉ FÓLIE .....     | 155 |
| GRAF 1: CHARAKTERISTICKÉ KŘIVKY PŘI RŮZNÝCH VLNOVÝCH DÉLKÁCH. ....   | 177 |
| GRAF 2: CHARAKTERISTICKÉ KŘIVKY ČLÁNKŮ S RŮZNÝMI BARVIVY .....       | 177 |
| GRAF 3: CHARAKTERISTICKÉ KŘIVKY ČLÁNKŮ S RŮZNÝMI BARVIVY.....        | 18  |
| GRAF 4: CHARAKTERISTICKÉ KŘIVKY PŘI RŮZNÝCH TLOUŠŤKÁCH $TiO_2$ ..... | 18  |
| TABULKA 1: DOSTUPNÉ VÝSLEDKY .....                                   | 16  |

### **Posudek konzultanta**

Student Štěpán Příbyl realizoval v rámci Středoškolské odborné činnosti vlastní studii zaměřenou na popis, přípravu a charakterizaci speciálního typu solárního článku 3. generace na bázi obarveného  $\text{TiO}_2$ . Pro přípravu teoretické části práce se snažil pochopit a popsat ne zcela jednoduchý princip fungování tohoto článku, což se mu jednoznačně povedlo. Tato kapitola je přehledně zpracována a jsou v ní dobře zmapovány všechny teoretické aspekty, které jsou pro tento typ článku relevantní.

V praktické části studie student připravoval reálné vzorky solárních článků, včetně přípravy dílčích částí článků, jejich kompletaci a následné měření s cílem otestovat jejich výkonnost. Při těchto činnostech prokázal značnou soběstačnost, pečlivost a také zručnost. Výsledky těchto činností popsal a vysvětlil v praktické části práce.

Při kontaktu s mým výzkumným týmem také prokázal schopnost velmi dobře komunikovat v anglickém jazyce a reagovat na podněty vyplývající z diskuze a aktuálních potřeb. Výborné znalosti anglického jazyka prokázal i při studiu odborných materiálů, přičemž tyto materiály mu pomohly pochopit princip fungování článku a poskytly potřebné informace pro teoretickou část práce.

Všechny kapitoly jeho práce byly realizovány na vysoké úrovni s ohledem na jeho věk a vzdělání. Z mého pohledu jednoznačně splnil požadavky na daný typ práce.

V Pardubicích, 13. 2. 2017, Dr.-Ing. Jan Macák

## **Seznam příloh**

PŘÍLOHA 1: SPECIFIKACE POUŽITÉ SUSPENZE  $\text{TiO}_2$

PŘÍLOHA 2: SPECIFIKACE BARVIVA RUTHENIZER 535-BISTBA

PŘÍLOHA 3: SPECIFIKACE BARVIVA SENSIDIZER RK1

PŘÍLOHA 4: SPECIFIKACE POUŽITÉHO ELEKTROLYTU

PŘÍLOHA 5: SPECIFIKACE TMELOVÉ POLYMERNÍ FÓLIE SURLYN

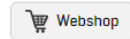
PŘÍLOHA 6: SPECIFIKACE TĚSNÍCÍ PÁSKY PARAFILM

PŘÍLOHA 7: UKÁZKA NAMĚŘENÝCH DAT POMOCÍ SOLÁRNÍHO SIMULÁTORU

PŘÍLOHA 8: FOTOGRAFIE PŘÍČNÉHO ŘEZU ANODOVÝM SKLÍČKEM



INNOVATIVE SOLUTIONS FOR SOLAR PROFESSIONALS




- MATERIALS
- SOLAR CELLS
- EQUIPMENT
- NEWS
- ABOUT US
- CONTACTS

- MATERIALS
- PRODUCTS
- KITS
- GET STARTED

← All Products

## Ti-Nanoxide Titanium Dioxide Pastes

The Solaronix Ti-Nanoxide products are a family of formulations of titanium dioxide particles. They can be used for the fabrication of photo-electrodes and are perfectly suited for Dye Solar Cell applications.

In Dye Solar Cells, the photo-anodes consist of a mesoporous layer of titanium dioxide nano-particles. The resulting layer can be stained with one of our premium sensitizing dyes to complete the Dye Solar Cell photo-anodes.

The formulations of our products have been developed over 15 years utilizing close interaction with customers. This has led to the most comprehensive offering of titanium nano-particle pastes available. We use proven in-house fabrication processes that proudly continue to serve research and industrial uses.

Solaronix' nano-particle manufacturing allows us to precisely control crystal growth and anatase phase selectivity. We produce targeted particle sizes which enable us to tune the transparency of the resulting titanium dioxide layers. This flexibility permits the fabrication of either transparent, or diffusing (opaque) electrode designs. Tunable appearance is a particularly interesting feature of Dye Solar Cells, and the Ti-Nanoxide products aid in exploiting that feature.

Since we also make advanced Dye Solar Cells and modules, we are the experts in the field when it comes to titania particles and titania formulations.

### TRANSPARENT ACTIVE LAYER

#### Ti-Nanoxide T/SP

Highly dispersed titania nano-particle paste for the deposition of transparent active mesoporous layers.

The sintered films feature a very high surface area ensuring efficient dye loading.



### REFLECTIVE ADD-ON LAYER

#### Ti-Nanoxide R/SP

Large titania particle paste for the deposition of a reflective layer atop pre-existing layers.

The reflective sintered layer enhances light absorption of the underneath mesoporous active layers.



### DIFFUSING ACTIVE LAYER

#### Ti-Nanoxide D/SP

Mixed titania particle paste for the deposition of active opaque titania layers in one material.

The optimal mixing of large and small nano-particles ensures both very high surface area and light diffusion.



### MACRO-CHANNELED ACTIVE LAYER

#### Ti-Nanoxide MC/SP

Advanced formulation titania paste forming macro-channeled active opaque layers.

The tubular structure allows for better electrolyte penetration when using viscous or ionic liquid based electrolytes.

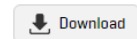


### Product Lines

- Ti-Nanoxide
- Ni-Nanoxide
- Zr-Nanoxide
- Ruthenizer
- Sensitizer
- Iodolyte
- Mosalyte
- IonLic
- Platisol
- Meltonix
- TCO

### Brochure

Download the Solaronix Materials brochure:



(PDF, 2.3 MB)

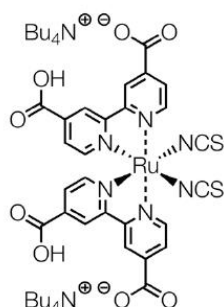
## Příloha 2:

Solaronix SA [www.solaronix.com](http://www.solaronix.com)  
Rue de l'Ourlette 129 T +41 21 821 22 80  
CH-1170 Aubonne F +41 21 821 22 89  
Switzerland info@solaronix.com



## Ruthenizer 535-bisTBA

### High Performance Ruthenium Photo-Sensitizer for Dye Solar Cell Application



For industry or researchers who manufacture or study Dye Solar Cells, Ruthenizer 535-bisTBA is a high performance ruthenium dye which very efficiently sensitizes wide band-gap semi-conductors like titanium dioxide.

Unlike lower quality supplies, Ruthenizer 535-bisTBA is ready to use and doesn't require extra purification. Our product is high quality and tested in real solar cells.



### Characteristics

|                   |   |
|-------------------|---|
| Aspect            | dark purple powder  |
| Synonyms          | N719  |
| Chemical Name     | <i>cis</i> -diisothiocyanato-bis[2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato] ruthenium(II) bis(tetrabutylammonium) |
| Molecular Formula | C <sub>58</sub> H <sub>66</sub> O <sub>8</sub> Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> Ru                          |
| Formula Weight    | 1188.6 g/mol  |
| CAS Number        | 207347-46-4   |
| HS Code           | 7110.4900   |
| Absorption λ(max) | 535 nm [1.47]; 395 nm [1.43]; 312 nm [4.91] [ε/10 <sup>4</sup> M <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> ]         |
| Emission λ(max)   | 750 nm [EtOH, rt.]  |
| HOMO Level        | -5.34 eV  |
| LUMO Level        | -3.43 eV  |
| Solubility        | EtOH, MeOH, AcCN, DMF, basic H <sub>2</sub> O   |

### Retail Quantities

|        |      |       |
|--------|------|-------|
| 100 mg | ref. | 21612 |
| 200 mg | ref. | 21622 |
| 500 mg | ref. | 21652 |
| 1 g    | ref. | 21613 |
| 2 g    | ref. | 21623 |
| 5 g    | ref. | 21653 |
| 10 g   | ref. | 21614 |
| 20 g   | ref. | 21624 |
| 50 g   | ref. | 21654 |
| 100 g  | ref. | 21615 |

Pricing on product page:

[solx.ch/ru535tba](http://solx.ch/ru535tba)

### How to Order

Please visit our webshop at [shop.solaronix.com](http://shop.solaronix.com), or send us an e-mail or fax indicating your desired products.

### Bulk Supply

In addition to the retail quantities listed above, Ruthenizer 535-bisTBA is also available in bulk for industrial purpose. Please inquire.



## USAGE

Ruthenizer 535-bisTBA is known to very efficiently photo-sensitize very efficiently titanium dioxide (titania) in the visible spectrum up to a wavelength of ~750 nm. This compound is commonly referred as N719 in the literature. It is so far one of the best pigment for Dye Solar Cells and has become an industry standard.

Ruthenizer 535-bisTBA is used to prepare staining solutions in which metal-oxide semi-conductor electrodes will be immersed. The dye naturally adsorbs on the semi-conductor, resulting in a colored electrode bearing a sensitizing layer of dye molecules.

### Staining Procedure For Titania Electrodes

Weight the amount of dry powder necessary to make a 0.5 mM ethanol solution of the required volume. Make sure the volume is sufficient to completely immerse the electrode(s).

*The addition of chenodeoxycholic acid [10 fold] in the staining solution yields a significant performance boost.*

Place the dye powder in a sealable container and add the required volume of ethanol. Absolute ethanol is good, but not strictly necessary. Alternatively, methanol can be equally employed with this dye.

Stir the mixture in a sealed vessel at room temperature (e.g. a glass bottle with stir bar). The solution rapidly turns dark purple although most of the solid is yet to be dissolved. Coarse grains can take awhile to dissolve, so prolong stirring until no traces of solid are visible.

*If necessary, briefly sonicate the solution to help dissolution. Beware that excessive sonication is potentially harmful to the dye molecules.*

Position the titania electrodes in a flat-bottomed, sealable container, side by side, with titania layers facing up. This is important in order to prevent scratching the fragile titania surface.

Pour a freshly prepared dye solution into the container and fully immerse the electrodes. Too little liquid won't allow the titania surface to adsorb enough dye and the electrodes may appear unevenly colored.

*For best results fire the titania electrodes just before staining so that they don't pick up ambient moisture. It is best to put them in the staining bath while still warm, 50-60°C. Such mesoporous titania electrodes are easily polluted by volatile substances.*

Seal the container with a lid and wait for the titania surface to get entirely stained. This takes several hours and can be conveniently left overnight. Make sure to avoid excessive light exposure during the staining process. Dye molecules are very light sensitive in solution, and even more so when adsorbed on titania and dry.

Remove the stained electrodes with plastic tweezers (to avoid metal traces pollution). Rinse thoroughly with ethanol to remove any excess dye which could otherwise cause a detrimental build up of dye molecule. Discard the rinsing waste.

*Staining solutions can be reused several times, provided the concentration is sufficient. However, dye solutions are not suitable for long term storage. Dye oxidation and precipitation may occur over time. It is preferable to store the dried dye powder in its original container and prepare solutions when needed.*

Completely dry the electrodes with an inert gas flow or with a brief blow of a hair-drier from a reasonable distance. Make sure to assemble the solar cells immediately. Stained electrodes are fragile, keep them in a sealed environment away from light until you are ready for assembly.

A properly stained titania electrode should look quite dark (especially if opaque) and purple (in any case), otherwise it will result in poor cell performance.

### Common Pitfalls

A white or faded coloration indicates poor staining, the entire surface of the electrode visibly didn't get colored. Try to increase the dye concentration or lengthen the staining time. If the problem persists, use recommend staining conditions for troubleshooting, change solvent, or check for moisture in the solution.

It could also indicate the structure of the titania electrode is not porous enough. Investigate possible titania issues such as firing process, poor porosity, or large particle size.

A brownish stained electrode indicates the dye has been oxidized, it's no longer purple. Discard the staining solution for a fresh one if it has changed color as well. Also, avoid exposing freshly stained electrodes to ambient atmos-

phere or moisture of too long, dye molecules adsorbed on the titania can be easily oxidized, especially when exposed to light.

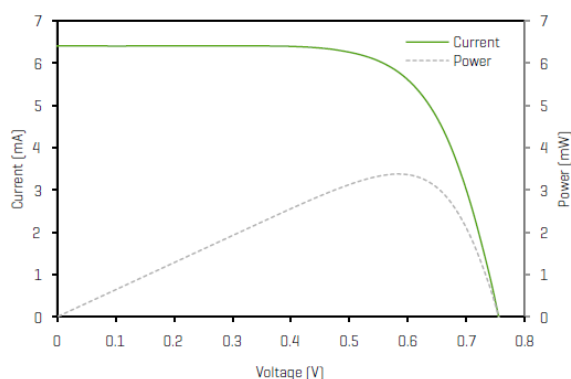
Staining the electrodes for too long will severely reduce solar cell performance due to dye molecule buildup. Consider using a lower concentration, or shorten the staining time if possible.

## EXAMPLE

### A Dye Solar Cell Sensitized with Ruthenizer 535-bisTBA

A 36 mm<sup>2</sup> titania photo-anode was prepared with 2 prints of Ti-Nanoxide T/SP and 1 print of Ti-Nanoxide R/SP on a piece of TC022-7 glass substrate. The electrode was treated with TiCl<sub>4</sub>, and stained in a solution of Ruthenizer 535-bisTBA using the procedure described above with chenodeoxycholic acid [1:10] as a co-adsorbent. A platinum coated cathode was prepared on another TC022-7 substrate with a layer of Platisol T. The two electrodes were laminated together using Meltonix 1170-60, and the solar cell was filled with Iodolyte HI-30 through a hole in the cathode. The filling hole was then sealed with Meltonix 1170-60 and a thin glass circle of 6 mm diameter.

The resulting solar cell was placed under 1 sun illumination using a Solaronix Solixon Class-A solar simulator and equipped with an adequate mask to avoid over-illumination, yielding the following current-voltage curve and tabulated results.



$V_{oc}$  755 mV

$J_{sc}$  17.78 mA/cm<sup>2</sup>

FF 0.70

Eff. 9.4 %

## STORAGE AND SAFETY

### Storage

Store the product in its original container, upright and tightly sealed. Keep in a dry place at room temperature, away from light exposure.

The product is not known to suffer from degradation when stored properly. Consider filling the container with inert gas for very long term storage.

While in use, avoid leaving the container open unnecessarily.

### Safety

Ruthenizer 535-bisTBA is for research and development use only and is intended to be manipulated by knowledgeable personnel. Ensure good ventilation of the workplace, and wear suitable protective equipment.



Signal word: Danger

For a complete description of safety measures, please refer to the Material Safety Datasheet (MSDS) of Ruthenizer 535-bisTBA.

[solaronix.com/msds/](http://solaronix.com/msds/)

## RELATED PRODUCTS

### Cited in This Document

- Chenodeoxycholic Acid, staining additive.
- TC022-7, FTO coated glass substrates.
- Ti-Nanoxide T/SP, screen-printable titania nanoparticle paste.
- Ti-Nanoxide R/SP, screen-printable reflective titania paste.
- Platisol T/SP, screen-printable platinum precursor paste.
- Iodolyte HI-30, very high performance electrolyte.
- Meltonix 1170-60, hot-melt sealing films.
- Solixon, continuous illumination solar simulators.

### Consider Also

- Ruthenizer 535, protonated analogue to Ruthenizer 535-bisTBA
- Ruthenizer 620-1H3TBA, panchromatic ruthenium dye
- Ruthenizer 520-DN, amphiphilic ruthenium dye
- Labware: Staining Boxes, Plastic Tweezers

## REFERENCES

### Articles About N719

---

For further reading, have a look at the following articles:

- Chem. Commun. 2003, 1456-1457  
[doi:10.1039/b302566g]
- Inorg. Chem. 1999, 38, 6298-6305  
[doi:10.1021/ic990916a]
- Inorganica Chimica Acta 2009, 362, 5155-5162  
[doi:10.1016/j.ica.2009.09.001]
- J. Phys. Chem. B 2003, 107, 14244-14248  
[doi:10.1021/jp035483i]
- Nature Materials 2009, 8, 665-671  
[doi:10.1038/nmat2475]
- Thermochimica Acta 2000, 348, 105-114  
[doi:10.1016/S0040-6031(99)00486-4]
- J. Phys. Chem. C, 2011, 115 (17), pp 8825-8831  
[doi:10.1021/jp111949a]

### People Using Ruthenizer 535–bisTBA

---

A random selection of publications using Ruthenizer 535–bisTBA:

- Metrohm: Autolab Application Note PV01, PV02, PV03.
- Chang et al. Nanoscale Research Letters 2012, 7:688
- Chem. Commun., 2011,47, 1809-1811  
[doi:10.1039/C0CC03312J]
- Phys. Chem. Chem. Phys., 2011,13, 19298-19301  
[doi:10.1039/C1CP22819F]
- Scripta Materialia 62, 2010, 223-226  
[doi:10.1016/j.scriptamat.2009.11.001]

Do you use this product? Would you like your article to appear here? Please let us know at [materials@solaronix.com](mailto:materials@solaronix.com).

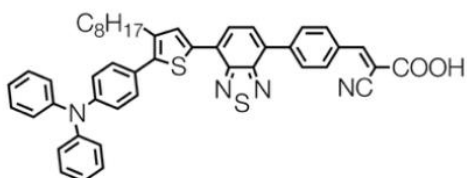
## Příloha 3:

Solaronix SA [www.solaronix.com](http://www.solaronix.com)  
Rue de l'Ourlette 129 T +41 21 821 22 80  
CH-1170 Aubonne F +41 21 821 22 89  
Switzerland info@solaronix.com



# Sensidizer RK1

## High Performance Organic Photo-Sensitizer



For industry or researchers who manufacture or study Dye Solar Cells, Sensidizer RK1 is a high performance organic dye which very efficiently sensitizes wide band-gap semi-conductors like titanium dioxide.

Unlike lower quality supplies, Sensidizer RK1 is ready to use and doesn't require extra purification. Our product is high quality and tested in real solar cells.



### Characteristics

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Aspect                     | red brown powder   |
| Synonyms                   | RK1  |
| Chemical Name              | 2-cyano-3-[4-[7-[5-[4-[diphenylamino]phenyl]-4-octylthiophen-2-yl]benzo[c][1,2,5]thiadiazol-4-yl]phenyl]acrylic acid |
| Molecular Formula          | C <sub>46</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub> N <sub>4</sub> S <sub>2</sub>   |
| Formula Weight             | 744.97 g/mol   |
| HS Code                    | 7110.49  |
| Absorption $\lambda$ (max) | 366 nm [4.5]; 470 nm [2.66]; [ $\epsilon$ /10 <sup>4</sup> M <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> ]                        |
| HOMO Level                 | -5.05 eV   |

### Retail Quantities

|        |      |       |
|--------|------|-------|
| 5 mg   | ref. | 22750 |
| 10 mg  | ref. | 22711 |
| 20 mg  | ref. | 22721 |
| 50 mg  | ref. | 22751 |
| 100 mg | ref. | 22712 |

Pricing on product page:  
[solx.ch/sensrk1](http://solx.ch/sensrk1)

### How to Order

Please visit our webshop at [shop.solaronix.com](http://shop.solaronix.com), or send us an e-mail or fax indicating your desired products.

## USAGE

Solaronix introduces Sensitizer, a collection of new commercially available metal-free organic dyes for applications in Dye Solar Cells. These dyes offer customers the possibility to fabricate DSSCs without ruthenium-based sensitizers.

Sensitizer RK1 can be used as a semiconductor sensitizer, such as titanium dioxide or zinc oxide. This dye features a good solubility and an intense absorption spectrum that lead to highly colorful electrodes.

### Staining Procedure For Titania Electrodes

Weight the amount of dry powder necessary to make a 0.2 mM methanol solution of the required volume. Make sure the volume is sufficient to completely immerse the electrode[s].

*The addition of chenodeoxycholic acid (10 fold) in the staining solution yields a significant performance boost.*

Place the dye powder in a sealable container and add the required volume of ethanol. Absolute ethanol is good, but not strictly necessary. Alternatively, methanol can be equally employed with this dye.

Stir the mixture in a sealed vessel at room temperature [e.g. a glass bottle with stir bar]. The solution turns orange although most of the solid is yet to be dissolved. Coarse grains can take awhile to dissolve, so prolong stirring until no traces of solid are visible, or use sonication to help dissolution .

*Flocculation of the dye could appear for high concentrations*

Position the titania electrodes in a flat-bottomed, sealable container, side by side, with titania layers facing up. This is important in order to prevent scratching the fragile titania surface.

Pour a freshly prepared dye solution into the container and fully immerse the electrodes. Too little liquid won't allow the titania surface to adsorb enough dye and the electrodes may appear unevenly colored.

*For best results fire the titania electrodes just before staining so that they don't pick up ambient moisture. It is best to put them in the staining bath while still warm, 50-60°C. Such mesoporous titania electrodes are easily polluted by volatile substances.*

Seal the container with a lid and wait for the titania surface to get entirely stained. This takes several hours and can be conveniently left overnight. Make sure to avoid excessive light exposure during the staining process. Dye molecules are very light sensitive in solution, and even more so when adsorbed on titania and dry.

Remove the stained electrodes with plastic tweezers (to avoid metal traces pollution). Rinse thoroughly with ethanol to remove any excess dye which could otherwise cause a detrimental build up of dye molecule. Discard the rinsing waste.

*Staining solutions can be reused several times, provided the concentration is sufficient. However, dye solutions are not suitable for long term storage. Dye oxidation and precipitation may occur over time. It is preferable to store the dried dye powder in its original container and prepare solutions when needed.*

Completely dry the electrodes with an inert gas flow or with a brief blow of a hair-drier from a reasonable distance. Make sure to assemble the solar cells immediately. Stained electrodes are fragile, keep them in a sealed environment away from light until you are ready for assembly.

A properly stained titania electrode should look quite dark [especially if opaque] and red [in any case], otherwise it will result in poor cell performance.

### Common Pitfalls

A white or faded coloration indicates poor staining, the entire surface of the electrode visibly didn't get colored. Try to increase the dye concentration or lengthen the staining time. If the problem persists, use recommend staining conditions for troubleshooting, change solvent, or check for moisture in the solution.

It could also indicate the structure of the titania electrode is not porous enough. Investigate possible titania issues such as firing process, poor porosity, or large particle size.

Avoid exposing freshly stained electrodes to ambient atmosphere or moisture of too long, dye molecules adsorbed on the titania can be easily oxidized, especially when exposed to light.

Staining the electrodes for too long will severely reduce solar cell performance due to dye molecule buildup. Consider using a lower concentration, or shorten the staining time if possible.

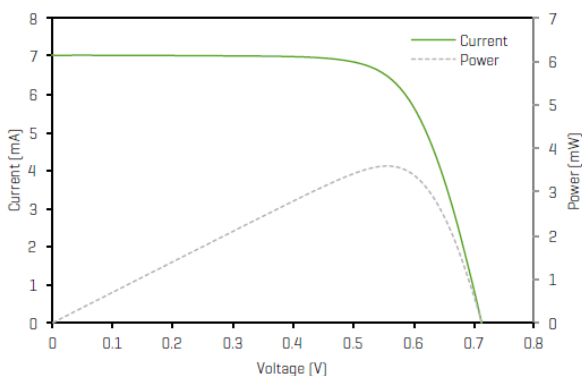


## EXAMPLE

### A Dye Solar Cell Sensitized with Sensidizer RK1

A 36 mm<sup>2</sup> titania photo-anode was prepared with 1 print of Ti-Nanoxide T/SP, 2 prints of Ti-Nanoxide MC/SP and 1 print of Ti-Nanoxide R/SP on a piece of TC022-7 glass substrate. The electrode was treated with TiCl<sub>4</sub>, and stained in a solution of Sensidizer RK1 using the procedure described above with chenodeoxycholic acid [1:10] as a co-adsorbent. A platinum coated cathode was prepared on another TC022-7 substrate with a layer of Platisol T. The two electrodes were laminated together using Meltonix 1170-60, and the solar cell was filled with Iodolyte HI-30 through a hole in the cathode. The filling hole was then sealed with Meltonix 1170-60 and a thin glass circle of 6 mm diameter.

The resulting solar cell was placed under 1 sun illumination using a Solaronix Solixon Class-A solar simulator and equipped with an adequate mask to avoid over-illumination, yielding the following current-voltage curve and tabulated results.



$V_{oc}$  713 mV

$J_{sc}$  19.50 mA/cm<sup>2</sup>

FF 0.72

Eff. 10 %

## STORAGE AND SAFETY

### Storage

Store the product in its original container, upright and tightly sealed. Keep in a dry place at room temperature, away from light exposure.

The product is not known to suffer from degradation when stored properly. Consider filling the container with inert gas for very long term storage.

While in use, avoid leaving the container open unnecessarily.

### Safety

Sensidizer RK1 is for research and development use only and is intended to be manipulated by knowledgeable personnel. Ensure good ventilation of the workplace, and wear suitable protective equipment.



Signal word: Danger

For a complete description of safety measures, please refer to the Material Safety Datasheet (MSDS) of Sensidizer RK1.

[solaronix.com/msds/](http://solaronix.com/msds/)

## RELATED PRODUCTS

### Cited in This Document

- Chenodeoxycholic Acid, staining additive.
- TC022-7, FTO coated glass substrates.
- Ti-Nanoxide T/SP, screen-printable titania nanoparticle paste.
- Ti-Nanoxide MC/SP, screen-printable titania nanoparticle paste.
- Ti-Nanoxide R/SP, screen-printable reflective titania paste.
- Platisol T/SP, screen-printable platinum precursor paste.
- Iodolyte HI-30, very high performance electrolyte.
- Meltonix 1170-60, hot-melt sealing films.
- Solixon, continuous illumination solar simulators.

### Consider Also

- Ruthenizer 535, protonated analogue to Ruthenizer 535-bisTBA
- Sensidizer SQ2, a green-colored purely organic dye by Solaronix
- Labware: Staining Boxes, Plastic Tweezers

## REFERENCES

For further reading, have a look at the following article:

- Scientific Report 4, 2014, Article Number : 4033  
[doi: 10.1038/srep04033]
- Energy Environ. Sci., 2015 [doi: 10.1039/C5EE00444F]

## EL-HPE High Performance Electrolyte

Use Dyesol's EL-HPE High Performance Electrolyte with any of Dyesol's dyes to get optimum voltage and current performance. Particularly suitable for glass or metal/glass substrate-based DSC systems.



[Add to Compare](#)

[View Compare Products](#)

[Email a Friend](#)

[Need Help?](#)

[CONTACT US](#)

### PRODUCT DETAILS

Dyesol's EL-HPE High Performance Electrolyte is a low viscosity, high ionic conductivity liquid electrolyte and therefore provides highest performance. Due to the low boiling point of the main solvent and the chemistry of the electrolyte mixture, EL-HPE will not provide best long term stability under standard solar conditions and/or under elevated temperature testing.

| ITEM #       | SIZE                  | PRICE      | QTY                            |
|--------------|-----------------------|------------|--------------------------------|
| MS005615-10  | 10 millilitre bottle  | AU\$43.55  | <input type="text" value="0"/> |
| MS005615-20  | 20 millilitre bottle  | AU\$69.69  | <input type="text" value="0"/> |
| MS005615-50  | 50 millilitre bottle  | AU\$148.08 | <input type="text" value="0"/> |
| MS005615-100 | 100 millilitre bottle | AU\$252.61 | <input type="text" value="0"/> |
| MS005615-200 | 200 millilitre bottle | AU\$435.54 | <input type="text" value="0"/> |

[ADD TO CART](#)

### SPECIFICATIONS

Redox Couple  $I_3^-/I^-$  - triiodide/iodide

Additives: Inorganic iodide salt, organic iodide salt, pyridine derivative

Solvent: Acetonitrile & valeronitrile



oha 4:

Příloha 5:

## Low Temperature Thermoplastic Sealant

Use Dyesol's Low Temperature Thermoplastic Sealant to seal Dye Solar Cells where lower processing temperatures are required to minimise temperature related degradation of pre-dyed electrodes during assembly.



[Add to Compare](#)

[View Compare Products](#)

[Email a Friend](#)

[Need Help?](#)

[CONTACT US](#)

### PRODUCT DETAILS

Dyesol's Low Temperature Thermoplastic Sealant is a DuPont™ Surlyn® functionalised E/MAA resin, extruded to form a transparent and flexible free-standing film with uniform thickness and is chemically stable with good mechanical properties.

Consider also purchasing: Dyesol's Hermetic Sealing Compound, Test Cell Assembly Machine and Laser Scribing Machine.

Looking for More info?

[DOWNLOAD BROCHURE](#)

[ADD TO CART](#)

| ITEM #      | SIZE                                   | PRICE      | QTY                            |
|-------------|--|------------|--------------------------------|
| MS004610    | 300mm x 200mm x 30µ thick x 1 sheet    | AU\$75.00  | <input type="text" value="1"/> |
| MS004610-10 | 300mm x 200mm x 30µm thick x 10 sheets | AU\$750.00 | <input type="text" value="0"/> |
| MS004611    | 19mm x 10mm x 30µm thick x 1 Gasket    | AU\$150.00 | <input type="text" value="0"/> |
| MS004620    | 300mm x 200mm x 50µm thick x 1 sheet   | AU\$25.00  | <input type="text" value="0"/> |
| MS004620-10 | 300mm x 200mm x 50µm thick x 10 sheets | AU\$200.00 | <input type="text" value="0"/> |
| MS004621    | 19mm x 16mm x 50µm thick x 1 Gasket    | AU\$135.00 | <input type="text" value="0"/> |

### SPECIFICATIONS

Sealing Temperature: 110-130°C

Melting Point: 93°C

Freeze Point: 61°C

Vicat Softening Point: 65°C

Film Thickness Options: 30µm or 50µm

Gasket Size Options: Pre-cut to 19mm x 16mm outer and 13mm x 10mm inner, or custom laser cut to your dimensions.

Film Size: ~300mm x 200mm



3050 Spruce Street  
Saint Louis, Missouri 63103 USA  
Telephone 800-325-5832 • (314) 771-5765  
Fax (314) 286-7828  
email: techserv@sial.com  
sigma-aldrich.com

## Product Information

### Parafilm® M

Product Numbers P 7793, P 7543, P 7668, and P 6543

#### Product Description

Gas Permeability (permeability rates corrected to 760 mm pressure):  
Oxygen: 150 cc/m<sup>2</sup>/24 hours  
Carbon dioxide: 400 cc/m<sup>2</sup>/24 hours (both at about 22.8 °C, 50% relative humidity (R.H.))  
Water vapor: 0.88 g/m<sup>2</sup>/24 hours (37.8 °C and 90% R.H. vs desiccant).

#### Size:

|        |               |
|--------|---------------|
| P 7543 | 2 in x 250 ft |
| P 7793 | 4 in x 125 ft |
| P 7668 | 4 in x 250 ft |
| P 6543 | 20 in x 50 ft |

Parafilm M is a semi-transparent, flexible, thermoplastic, and highly waterproof sheet material. It is practically colorless, odorless and is approximately 0.13 mm in thickness. It is permeable to gases, but highly insensitive to moisture loss and moisture absorption, thus making it ideal for protecting the contents of broth tubes, flasks, culture tubes, and petri dishes. The permeability of either oxygen or carbon dioxide should not be affected at different relative humidities because of the low water permeability and insensitivity of Parafilm to moisture vapor.

#### Chemical Reactivity:

No apparent effects in 24 hours:  
Hydrochloric acid (12 M)  
Nitric acid (16 M)  
Sulfuric acid (18 M)  
Ammonium hydroxide (28% NH<sub>3</sub>)  
Sodium hydroxide (22%)  
Sodium chloride solution (20%)  
Isopropanol alcohol (99%)  
Ethanol (95%), no apparent effect except some face whitening in 24 hours  
Potassium permanganate (5%), no apparent effect, except for some permanent dark brown coloration after 18 hours; 0.1%, same as 5% except slightly less color resulted  
Iodine solution (0.1 N), no effect except brown staining in 18 hours.  
Carbon tetrachloride, chloroform and ethyl ether: dissolved film on contact.

Temperature effect: the film becomes soft and sticky at about 54-66 °C.

#### Precautions and Disclaimer

For Laboratory Use Only. Not for drug, household or other uses.

Parafilm is a registered trademark of Pecheney Plastics Packaging.

ARO/CMK/RXR 10/03

Příloha 7:

| Potenciál (V) | Čas (s)     | Proud (A)   | Napětí (V)   | Výkon (W) | Index |
|---------------|-------------|-------------|--------------|-----------|-------|
| -0.002441406  | 8.365220979 | 0.000613098 | -0.003134155 | -1.92E-06 | 1     |
| -0.004882813  | 8.389634979 | 0.000612793 | -0.005584717 | -3.42E-06 | 2     |
| -0.007324219  | 8.414048979 | 0.000612488 | -0.008047485 | -4.93E-06 | 3     |
| -0.009765625  | 8.438462979 | 0.000612183 | -0.010461426 | -6.40E-06 | 4     |
| -0.012207031  | 8.462876979 | 0.000611877 | -0.01295166  | -7.92E-06 | 5     |
| -0.014648438  | 8.487290979 | 0.000611572 | -0.015365601 | -9.40E-06 | 6     |
| -0.017089844  | 8.511704979 | 0.000611572 | -0.01781311  | -1.09E-05 | 7     |
| -0.01953125   | 8.536118978 | 0.000611267 | -0.020248413 | -1.24E-05 | 8     |
| -0.021972656  | 8.560532978 | 0.000610962 | -0.022705078 | -1.39E-05 | 9     |
| -0.024414063  | 8.584946978 | 0.000610657 | -0.025146484 | -1.54E-05 | 10    |
| -0.026855469  | 8.609360978 | 0.000610352 | -0.027590942 | -1.68E-05 | 11    |
| -0.029296875  | 8.633774978 | 0.000610352 | -0.030053711 | -1.83E-05 | 12    |
| -0.031738281  | 8.658188978 | 0.000610046 | -0.032507324 | -1.98E-05 | 13    |
| -0.034179688  | 8.682602978 | 0.000609741 | -0.034945679 | -2.13E-05 | 14    |
| -0.036621094  | 8.707016978 | 0.000609741 | -0.037380981 | -2.28E-05 | 15    |
| -0.0390625    | 8.731430978 | 0.000609436 | -0.039819336 | -2.43E-05 | 16    |
| -0.041503906  | 8.755844978 | 0.000609131 | -0.042269897 | -2.57E-05 | 17    |
| -0.043945313  | 8.780258978 | 0.000608826 | -0.044723511 | -2.72E-05 | 18    |
| -0.046386719  | 8.804672978 | 0.000608826 | -0.047161865 | -2.87E-05 | 19    |
| -0.048828125  | 8.829086978 | 0.000608521 | -0.049615479 | -3.02E-05 | 20    |
| -0.051269531  | 8.853500978 | 0.000608215 | -0.0519104   | -3.16E-05 | 21    |
| -0.053710938  | 8.877914978 | 0.00060791  | -0.054321289 | -3.30E-05 | 22    |
| -0.056152344  | 8.902328978 | 0.000607605 | -0.05682373  | -3.45E-05 | 23    |
| -0.05859375   | 8.926742977 | 0.000607605 | -0.059234619 | -3.60E-05 | 24    |
| -0.061035156  | 8.951156977 | 0.0006073   | -0.061706543 | -3.75E-05 | 25    |
| -0.063476563  | 8.975570977 | 0.000606995 | -0.064117432 | -3.89E-05 | 26    |
| -0.065917969  | 8.999984977 | 0.000606689 | -0.066589355 | -4.04E-05 | 27    |
| -0.068359375  | 9.024398977 | 0.000606384 | -0.069000244 | -4.18E-05 | 28    |
| -0.070800781  | 9.048812977 | 0.000606384 | -0.07144165  | -4.33E-05 | 29    |
| -0.073242188  | 9.073226977 | 0.000606079 | -0.074005127 | -4.49E-05 | 30    |
| -0.075683594  | 9.097640977 | 0.000605774 | -0.07635498  | -4.63E-05 | 31    |
| -0.078125     | 9.122054977 | 0.000605469 | -0.078796387 | -4.77E-05 | 32    |
| -0.080566406  | 9.146468977 | 0.000605164 | -0.08114624  | -4.91E-05 | 33    |
| -0.083007813  | 9.170882977 | 0.000604858 | -0.083648682 | -5.06E-05 | 34    |
| -0.085449219  | 9.195296977 | 0.000604858 | -0.086120605 | -5.21E-05 | 35    |
| -0.087890625  | 9.219710977 | 0.000604553 | -0.088531494 | -5.35E-05 | 36    |
| -0.090332031  | 9.244124977 | 0.000604248 | -0.091064453 | -5.50E-05 | 37    |
| -0.092773438  | 9.268538977 | 0.000603943 | -0.093444824 | -5.64E-05 | 38    |
| -0.095214844  | 9.292952977 | 0.000603638 | -0.09588623  | -5.79E-05 | 39    |
| -0.09765625   | 9.317366976 | 0.000603333 | -0.098266602 | -5.93E-05 | 40    |
| -0.100097656  | 9.341780976 | 0.000603027 | -0.100769043 | -6.08E-05 | 41    |
| -0.102539063  | 9.366194976 | 0.000602722 | -0.103210449 | -6.22E-05 | 42    |
| -0.104980469  | 9.390608976 | 0.000602417 | -0.105621338 | -6.36E-05 | 43    |
| -0.107421875  | 9.415022976 | 0.000602112 | -0.108093262 | -6.51E-05 | 44    |
| -0.109863281  | 9.439436976 | 0.000601807 | -0.110595703 | -6.66E-05 | 45    |
| -0.112304688  | 9.463850976 | 0.000601501 | -0.112915039 | -6.79E-05 | 46    |
| -0.114746094  | 9.488264976 | 0.000601196 | -0.11541748  | -6.94E-05 | 47    |
| -0.1171875    | 9.512678976 | 0.000600886 | -0.117858887 | -7.08E-05 | 48    |
| -0.119628906  | 9.537092976 | 0.000600586 | -0.120239258 | -7.22E-05 | 49    |
| -0.122070313  | 9.561506976 | 0.000599976 | -0.122650146 | -7.36E-05 | 50    |
| -0.124511719  | 9.585920976 | 0.00059967  | -0.125152588 | -7.51E-05 | 51    |
| -0.126953125  | 9.610334976 | 0.000599365 | -0.127655029 | -7.65E-05 | 52    |
| -0.129394531  | 9.634748976 | 0.00059906  | -0.130065918 | -7.79E-05 | 53    |
| -0.131835938  | 9.659162976 | 0.00059845  | -0.132476807 | -7.93E-05 | 54    |
| -0.134277344  | 9.683576976 | 0.000598145 | -0.13494873  | -8.07E-05 | 55    |
| -0.13671875   | 9.707990975 | 0.000597839 | -0.137390137 | -8.21E-05 | 56    |
| -0.139160156  | 9.732404975 | 0.000597229 | -0.139862061 | -8.35E-05 | 57    |
| -0.141601563  | 9.756818975 | 0.000596924 | -0.142211914 | -8.49E-05 | 58    |
| -0.144042969  | 9.781232975 | 0.000596313 | -0.144683838 | -8.63E-05 | 59    |
| -0.146484375  | 9.805646975 | 0.000596008 | -0.147125244 | -8.77E-05 | 60    |
| -0.148925781  | 9.830060975 | 0.000595398 | -0.14956665  | -8.91E-05 | 61    |
| -0.151367188  | 9.854474975 | 0.000595093 | -0.152038574 | -9.05E-05 | 62    |
| -0.153808594  | 9.878888975 | 0.000594482 | -0.154449463 | -9.18E-05 | 63    |
| -0.15625      | 9.903302975 | 0.000594177 | -0.156890869 | -9.32E-05 | 64    |
| -0.158691406  | 9.927716975 | 0.000593567 | -0.159301758 | -9.46E-05 | 65    |
| -0.161132813  | 9.952130975 | 0.000592957 | -0.161743164 | -9.59E-05 | 66    |
| -0.163574219  | 9.976544975 | 0.000592346 | -0.164123535 | -9.72E-05 | 67    |
| -0.166015625  | 10.00095897 | 0.000591736 | -0.166687012 | -9.86E-05 | 68    |

| Potenciál (V) | Čas (s)     | Proud (A)   | Napětí (V)   | Výkon (W)    | Index |
|---------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------|
| -0.168457031  | 10.02537297 | 0.000591125 | -0.169067383 | -9.99E-05    | 69    |
| -0.170898438  | 10.04978697 | 0.000590515 | -0.171508789 | -0.000101279 | 70    |
| -0.173339844  | 10.07420097 | 0.000589905 | -0.173980713 | -0.000102632 | 71    |
| -0.17578125   | 10.09861497 | 0.000589294 | -0.176452637 | -0.000103983 | 72    |
| -0.178222656  | 10.12302897 | 0.000588684 | -0.178863525 | -0.000105294 | 73    |
| -0.180664063  | 10.14744297 | 0.000587769 | -0.181304932 | -0.000106565 | 74    |
| -0.183105469  | 10.17185697 | 0.000587158 | -0.183776855 | -0.000107906 | 75    |
| -0.185546875  | 10.19627097 | 0.000586243 | -0.186218262 | -0.000109169 | 76    |
| -0.187988281  | 10.22068497 | 0.000585632 | -0.18862915  | -0.000110467 | 77    |
| -0.190429688  | 10.24509897 | 0.000584717 | -0.191070557 | -0.000111722 | 78    |
| -0.192871094  | 10.26951297 | 0.000583801 | -0.193511963 | -0.000112973 | 79    |
| -0.1953125    | 10.29392697 | 0.000582886 | -0.195953369 | -0.000114218 | 80    |
| -0.197753906  | 10.31834097 | 0.00058197  | -0.198364258 | -0.000115442 | 81    |
| -0.200195313  | 10.34275497 | 0.000581055 | -0.200866699 | -0.000116715 | 82    |
| -0.202636719  | 10.36716897 | 0.000580139 | -0.203277588 | -0.000117929 | 83    |
| -0.205078125  | 10.39158297 | 0.000578918 | -0.205810547 | -0.000119148 | 84    |
| -0.207519531  | 10.41599697 | 0.000578003 | -0.208221436 | -0.000120353 | 85    |
| -0.209960938  | 10.44041097 | 0.000576782 | -0.210632324 | -0.000121489 | 86    |
| -0.212402344  | 10.46482497 | 0.000575867 | -0.213134766 | -0.000122737 | 87    |
| -0.21484375   | 10.48923897 | 0.000574646 | -0.215484619 | -0.000123827 | 88    |
| -0.217285156  | 10.51365297 | 0.000573425 | -0.217926025 | -0.000124964 | 89    |
| -0.219726563  | 10.53806697 | 0.000572205 | -0.220367432 | -0.000126095 | 90    |
| -0.222167969  | 10.56248097 | 0.000570679 | -0.222808838 | -0.000127152 | 91    |
| -0.224609375  | 10.58689497 | 0.000569458 | -0.225280762 | -0.000128288 | 92    |
| -0.227050781  | 10.61130897 | 0.000567932 | -0.227722168 | -0.000129331 | 93    |
| -0.229492188  | 10.63572297 | 0.000566406 | -0.230163574 | -0.000130366 | 94    |
| -0.231933594  | 10.66013697 | 0.00056488  | -0.232574463 | -0.000131377 | 95    |
| -0.234375     | 10.68455097 | 0.000563354 | -0.235015869 | -0.000132397 | 96    |
| -0.236816406  | 10.70896497 | 0.000561829 | -0.237457275 | -0.00013341  | 97    |
| -0.239257813  | 10.73337897 | 0.000560303 | -0.239898682 | -0.000134416 | 98    |
| -0.241699219  | 10.75779297 | 0.000558472 | -0.242340088 | -0.00013543  | 99    |
| -0.244140625  | 10.78220697 | 0.000556641 | -0.244750977 | -0.000136238 | 100   |
| -0.246582031  | 10.80662097 | 0.00055481  | -0.2472229   | -0.000137162 | 101   |
| -0.249023438  | 10.83103497 | 0.000552979 | -0.249633789 | -0.000138042 | 102   |
| -0.251464844  | 10.85544897 | 0.000550842 | -0.25213623  | -0.000138887 | 103   |
| -0.25390625   | 10.87986297 | 0.000548706 | -0.254547119 | -0.000139672 | 104   |
| -0.256347656  | 10.90427697 | 0.000546875 | -0.257049561 | -0.000140574 | 105   |
| -0.258789063  | 10.92869097 | 0.000544739 | -0.259368896 | -0.000141288 | 106   |
| -0.261230469  | 10.95310497 | 0.000542603 | -0.261871338 | -0.000142092 | 107   |
| -0.263671875  | 10.97751897 | 0.000540161 | -0.264373779 | -0.000142804 | 108   |
| -0.266113281  | 11.00193297 | 0.000538025 | -0.266784668 | -0.000143537 | 109   |
| -0.268554688  | 11.02634697 | 0.000535583 | -0.269195557 | -0.000144177 | 110   |
| -0.270996094  | 11.05076097 | 0.000533142 | -0.271606445 | -0.000144805 | 111   |
| -0.2734375    | 11.07517497 | 0.000530396 | -0.274108887 | -0.000145386 | 112   |
| -0.275878906  | 11.09958897 | 0.000527954 | -0.276580811 | -0.000146022 | 113   |
| -0.278320313  | 11.12400297 | 0.000525208 | -0.278961182 | -0.000146513 | 114   |
| -0.280761719  | 11.14841697 | 0.000522461 | -0.281402588 | -0.000147022 | 115   |
| -0.283203125  | 11.17283097 | 0.000519714 | -0.283843994 | -0.000147518 | 116   |
| -0.285644531  | 11.19724497 | 0.000516968 | -0.286315918 | -0.000148016 | 117   |
| -0.288085938  | 11.22165897 | 0.000513916 | -0.288757324 | -0.000148397 | 118   |
| -0.290527344  | 11.24607297 | 0.000510864 | -0.291168213 | -0.000148747 | 119   |
| -0.29296875   | 11.27048697 | 0.000507813 | -0.293609619 | -0.000149099 | 120   |
| -0.295410156  | 11.29490097 | 0.000504761 | -0.296020508 | -0.00014942  | 121   |
| -0.297851563  | 11.31931497 | 0.000501404 | -0.298461914 | -0.00014965  | 122   |
| -0.300292969  | 11.34372897 | 0.000498596 | -0.300933838 | -0.000150044 | 123   |
| -0.302734375  | 11.36814297 | 0.00049527  | -0.303405762 | -0.000150268 | 124   |
| -0.305175781  | 11.39255697 | 0.000491882 | -0.30581665  | -0.000150426 | 125   |
| -0.307617188  | 11.41697097 | 0.000488464 | -0.308258057 | -0.000150573 | 126   |
| -0.310058594  | 11.44138497 | 0.000484985 | -0.310699463 | -0.000150685 | 127   |
| -0.3125       | 11.46579897 | 0.000481171 | -0.312408447 | -0.000150322 | 128   |
| -0.314941406  | 11.49021297 | 0.000477539 | -0.314941406 | -0.000150397 | 129   |
| -0.317382813  | 11.51462697 | 0.000473907 | -0.317443848 | -0.000150439 | 130   |
| -0.319824219  | 11.53904097 | 0.000470184 | -0.319854736 | -0.000150391 | 131   |
| -0.322265625  | 11.56345497 | 0.000466461 | -0.32232666  | -0.000150353 | 132   |
| -0.324707031  | 11.58786897 | 0.000462677 | -0.324768066 | -0.000150263 | 133   |
| -0.327148438  | 11.61228297 | 0.000458862 | -0.327209473 | -0.000150144 | 134   |
| -0.329589844  | 11.63669697 | 0.000454926 | -0.329711914 | -0.000149994 | 135   |
| -0.33203125   | 11.66111097 | 0.000451019 | -0.332122803 | -0.000149794 | 136   |
| -0.334472656  | 11.68552497 | 0.000447052 | -0.334564209 | -0.000149568 | 137   |
| -0.336914063  | 11.70993897 | 0.000443054 | -0.33706665  | -0.000149339 | 138   |

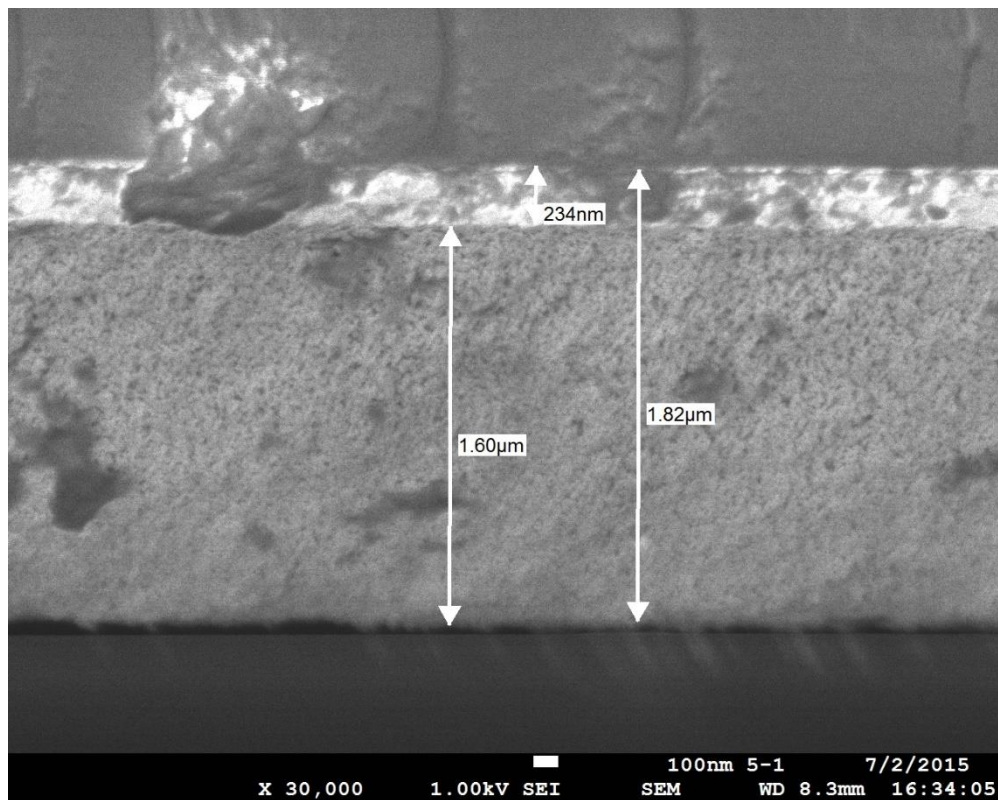
| Potenciál (V) | Čas (s)     | Proud (A)   | Napětí (V)   | Výkon (W)    | Index |
|---------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------|
| -0.339355469  | 11.73435297 | 0.000439026 | -0.339447021 | -0.000149026 | 139   |
| -0.341796875  | 11.75876697 | 0.000434937 | -0.341918945 | -0.000148713 | 140   |
| -0.344238281  | 11.78318097 | 0.000430847 | -0.344329834 | -0.000148354 | 141   |
| -0.346679688  | 11.80759497 | 0.000426697 | -0.346832275 | -0.000147992 | 142   |
| -0.349121094  | 11.83200897 | 0.000422485 | -0.349212646 | -0.000147537 | 143   |
| -0.3515625    | 11.85642297 | 0.000418274 | -0.351654053 | -0.000147088 | 144   |
| -0.354003906  | 11.88083697 | 0.000414063 | -0.354156494 | -0.000146643 | 145   |
| -0.356445313  | 11.90525097 | 0.00040979  | -0.3565979   | -0.00014613  | 146   |
| -0.358886719  | 11.92966497 | 0.000405548 | -0.359100342 | -0.000145632 | 147   |
| -0.361328125  | 11.95407897 | 0.000401215 | -0.36151123  | -0.000145044 | 148   |
| -0.363769531  | 11.97849297 | 0.000396942 | -0.363983154 | -0.000144448 | 149   |
| -0.366210938  | 12.00290697 | 0.000392578 | -0.36630249  | -0.000143802 | 150   |
| -0.368652344  | 12.02732097 | 0.000388245 | -0.368774414 | -0.000143175 | 151   |
| -0.37109375   | 12.05173497 | 0.000383885 | -0.371276855 | -0.000142515 | 152   |
| -0.373535156  | 12.07614897 | 0.000379456 | -0.373718262 | -0.000141809 | 153   |
| -0.375976563  | 12.10056297 | 0.000375061 | -0.376190186 | -0.000141094 | 154   |
| -0.378417969  | 12.12497697 | 0.000370636 | -0.378601074 | -0.000140323 | 155   |
| -0.380859375  | 12.14939097 | 0.000366241 | -0.380981445 | -0.000139531 | 156   |
| -0.383300781  | 12.17380497 | 0.000361816 | -0.383544922 | -0.000138773 | 157   |
| -0.385742188  | 12.19821897 | 0.000357422 | -0.385955811 | -0.000137949 | 158   |
| -0.388183594  | 12.22263297 | 0.000352997 | -0.388427734 | -0.000137114 | 159   |
| -0.390625     | 12.24704697 | 0.000348572 | -0.390838623 | -0.000136235 | 160   |
| -0.393066406  | 12.27146097 | 0.000344147 | -0.393280029 | -0.000135346 | 161   |
| -0.395507813  | 12.29587497 | 0.000339752 | -0.395721436 | -0.000134447 | 162   |
| -0.397949219  | 12.32028897 | 0.000335327 | -0.398254395 | -0.000133546 | 163   |
| -0.400390625  | 12.34470297 | 0.000330902 | -0.400634766 | -0.000132571 | 164   |
| -0.402832031  | 12.36911697 | 0.000326508 | -0.403076172 | -0.000131607 | 165   |
| -0.405273438  | 12.39353097 | 0.000322113 | -0.405639648 | -0.000130662 | 166   |
| -0.407714844  | 12.41794497 | 0.000317749 | -0.407989502 | -0.000129638 | 167   |
| -0.41015625   | 12.44235897 | 0.000313385 | -0.410461426 | -0.000128632 | 168   |
| -0.412597656  | 12.46677297 | 0.000309052 | -0.41293335  | -0.000127618 | 169   |
| -0.415039063  | 12.49118697 | 0.000304657 | -0.415313721 | -0.000126528 | 170   |
| -0.417480469  | 12.51560097 | 0.000300323 | -0.417816162 | -0.000125448 | 171   |
| -0.419921875  | 12.54001497 | 0.000296051 | -0.420257568 | -0.000124418 | 172   |
| -0.422363281  | 12.56442897 | 0.000291687 | -0.422668457 | -0.000123287 | 173   |
| -0.424804688  | 12.58884297 | 0.000287415 | -0.425140381 | -0.000122192 | 174   |
| -0.427246094  | 12.61325697 | 0.000283112 | -0.42767334  | -0.000121079 | 175   |
| -0.4296875    | 12.63767097 | 0.00027887  | -0.430023193 | -0.00011992  | 176   |
| -0.432128906  | 12.66208497 | 0.000274689 | -0.432434082 | -0.000118785 | 177   |
| -0.434570313  | 12.68649897 | 0.000270447 | -0.434936523 | -0.000117627 | 178   |
| -0.437011719  | 12.71091297 | 0.000266266 | -0.437408447 | -0.000116467 | 179   |
| -0.439453125  | 12.73532697 | 0.000262115 | -0.439849854 | -0.000115291 | 180   |
| -0.441894531  | 12.75974097 | 0.000257935 | -0.442321777 | -0.00011409  | 181   |
| -0.444335938  | 12.78415497 | 0.000253845 | -0.444671631 | -0.000112878 | 182   |
| -0.446777344  | 12.80856897 | 0.000249725 | -0.447174072 | -0.000111671 | 183   |
| -0.44921875   | 12.83298297 | 0.000245636 | -0.449615479 | -0.000110442 | 184   |
| -0.451660156  | 12.85739697 | 0.000241577 | -0.45211792  | -0.000109221 | 185   |
| -0.454101563  | 12.88181097 | 0.000237579 | -0.454467773 | -0.000107972 | 186   |
| -0.456542969  | 12.90622497 | 0.000233612 | -0.456970215 | -0.000106754 | 187   |
| -0.458984375  | 12.93063897 | 0.000229614 | -0.459381104 | -0.00010548  | 188   |
| -0.461425781  | 12.95505297 | 0.000225677 | -0.461853027 | -0.00010423  | 189   |
| -0.463867188  | 12.97946697 | 0.000221771 | -0.464324951 | -0.000102974 | 190   |
| -0.466308594  | 13.00388097 | 0.000217926 | -0.466766357 | -0.000101721 | 191   |
| -0.46875      | 13.02829497 | 0.00021402  | -0.469207764 | -0.00010042  | 192   |
| -0.471191406  | 13.05270897 | 0.000210236 | -0.471679688 | -9.92E-05    | 193   |
| -0.473632813  | 13.07712297 | 0.000206421 | -0.474121094 | -9.79E-05    | 194   |
| -0.476074219  | 13.10153697 | 0.000202667 | -0.4765625   | -9.66E-05    | 195   |
| -0.478515625  | 13.12595097 | 0.000198914 | -0.478942871 | -9.53E-05    | 196   |
| -0.480957031  | 13.15036497 | 0.000195221 | -0.481384277 | -9.40E-05    | 197   |
| -0.483398438  | 13.17477897 | 0.000191559 | -0.483886719 | -9.27E-05    | 198   |
| -0.485839844  | 13.19919297 | 0.000187927 | -0.48626709  | -9.14E-05    | 199   |
| -0.48828125   | 13.22360697 | 0.000184296 | -0.488739014 | -9.01E-05    | 200   |
| -0.490722656  | 13.24802097 | 0.000180725 | -0.491119385 | -8.88E-05    | 201   |
| -0.493164063  | 13.27243497 | 0.000177185 | -0.493652344 | -8.75E-05    | 202   |
| -0.495605469  | 13.29684897 | 0.000173645 | -0.496063232 | -8.61E-05    | 203   |
| -0.498046875  | 13.32126297 | 0.000170227 | -0.498565674 | -8.49E-05    | 204   |
| -0.500488281  | 13.34567697 | 0.000166748 | -0.500946045 | -8.35E-05    | 205   |
| -0.502929688  | 13.37009097 | 0.00016333  | -0.503448486 | -8.22E-05    | 206   |
| -0.505371094  | 13.39450497 | 0.000159973 | -0.505889893 | -8.09E-05    | 207   |
| -0.5078125    | 13.41891897 | 0.000156616 | -0.508331299 | -7.96E-05    | 208   |

| Potenciál (V) | Čas (s)     | Proud (A)   | Napětí (V)   | Výkon (W) | Index |
|---------------|-------------|-------------|--------------|-----------|-------|
| -0.510253906  | 13.44333297 | 0.000153381 | -0.510742188 | -7.83E-05 | 209   |
| -0.512695313  | 13.46774697 | 0.000150116 | -0.513214111 | -7.70E-05 | 210   |
| -0.515136719  | 13.49216097 | 0.00014682  | -0.515655518 | -7.57E-05 | 211   |
| -0.517578125  | 13.51657497 | 0.000143646 | -0.518127441 | -7.44E-05 | 212   |
| -0.520019531  | 13.54098897 | 0.000140472 | -0.520507813 | -7.31E-05 | 213   |
| -0.522460938  | 13.56540297 | 0.000137329 | -0.523040771 | -7.18E-05 | 214   |
| -0.524902344  | 13.58981697 | 0.000134216 | -0.525421143 | -7.05E-05 | 215   |
| -0.52734375   | 13.61423097 | 0.000131165 | -0.527893066 | -6.92E-05 | 216   |
| -0.529785156  | 13.63864497 | 0.000128143 | -0.53036499  | -6.80E-05 | 217   |
| -0.532226563  | 13.66305897 | 0.000125153 | -0.532775879 | -6.67E-05 | 218   |
| -0.534667969  | 13.68747297 | 0.000122192 | -0.535217285 | -6.54E-05 | 219   |
| -0.537109375  | 13.71188697 | 0.000119263 | -0.537628174 | -6.41E-05 | 220   |
| -0.539550781  | 13.73630097 | 0.000116364 | -0.540100098 | -6.28E-05 | 221   |
| -0.541992188  | 13.76071497 | 0.000113495 | -0.542541504 | -6.16E-05 | 222   |
| -0.544433594  | 13.78512897 | 0.000110687 | -0.54498291  | -6.03E-05 | 223   |
| -0.546875     | 13.80954297 | 0.000107941 | -0.547393799 | -5.91E-05 | 224   |
| -0.549316406  | 13.83395697 | 0.000105194 | -0.549865723 | -5.78E-05 | 225   |
| -0.551757813  | 13.85837097 | 0.000102478 | -0.552368164 | -5.66E-05 | 226   |
| -0.554199219  | 13.88278496 | 9.98E-05    | -0.554748535 | -5.54E-05 | 227   |
| -0.556640625  | 13.90719896 | 9.72E-05    | -0.557250977 | -5.42E-05 | 228   |
| -0.559082031  | 13.93161296 | 9.46E-05    | -0.559692383 | -5.29E-05 | 229   |
| -0.561523438  | 13.95602696 | 9.21E-05    | -0.562225342 | -5.18E-05 | 230   |
| -0.563964844  | 13.98044096 | 8.95E-05    | -0.564544678 | -5.05E-05 | 231   |
| -0.56640625   | 14.00485496 | 8.71E-05    | -0.567016602 | -4.94E-05 | 232   |
| -0.568847656  | 14.02926896 | 8.46E-05    | -0.569488525 | -4.82E-05 | 233   |
| -0.571289063  | 14.05368296 | 8.22E-05    | -0.571868896 | -4.70E-05 | 234   |
| -0.573730469  | 14.07809696 | 7.98E-05    | -0.574401855 | -4.59E-05 | 235   |
| -0.576171875  | 14.10251096 | 7.75E-05    | -0.576782227 | -4.47E-05 | 236   |
| -0.578613281  | 14.12692496 | 7.52E-05    | -0.579284668 | -4.36E-05 | 237   |
| -0.581054688  | 14.15133896 | 7.30E-05    | -0.581695557 | -4.24E-05 | 238   |
| -0.583496094  | 14.17575296 | 7.07E-05    | -0.584136963 | -4.13E-05 | 239   |
| -0.5859375    | 14.20016696 | 6.85E-05    | -0.586547852 | -4.02E-05 | 240   |
| -0.588378906  | 14.22458096 | 6.64E-05    | -0.589019775 | -3.91E-05 | 241   |
| -0.590820313  | 14.24899496 | 6.43E-05    | -0.591461182 | -3.80E-05 | 242   |
| -0.593261719  | 14.27340896 | 6.22E-05    | -0.593933105 | -3.70E-05 | 243   |
| -0.595703125  | 14.29782296 | 6.02E-05    | -0.596313477 | -3.59E-05 | 244   |
| -0.598144531  | 14.32223696 | 5.82E-05    | -0.598724365 | -3.48E-05 | 245   |
| -0.600585938  | 14.34665096 | 5.62E-05    | -0.601257324 | -3.38E-05 | 246   |
| -0.603027344  | 14.37106496 | 5.43E-05    | -0.603668213 | -3.28E-05 | 247   |
| -0.60546875   | 14.39547896 | 5.24E-05    | -0.606109619 | -3.18E-05 | 248   |
| -0.607910156  | 14.41989296 | 5.06E-05    | -0.608520508 | -3.08E-05 | 249   |
| -0.610351563  | 14.44430696 | 4.88E-05    | -0.611022949 | -2.98E-05 | 250   |
| -0.612792969  | 14.46872096 | 4.70E-05    | -0.613433838 | -2.88E-05 | 251   |
| -0.615234375  | 14.49313496 | 4.53E-05    | -0.615875244 | -2.79E-05 | 252   |
| -0.617675781  | 14.51754896 | 4.35E-05    | -0.618225098 | -2.69E-05 | 253   |
| -0.620117188  | 14.54196296 | 4.19E-05    | -0.620788574 | -2.60E-05 | 254   |
| -0.622558594  | 14.56637696 | 4.03E-05    | -0.622589111 | -2.51E-05 | 255   |
| -0.625        | 14.59079096 | 3.87E-05    | -0.625152588 | -2.42E-05 | 256   |
| -0.627441406  | 14.61520496 | 3.71E-05    | -0.627716064 | -2.33E-05 | 257   |
| -0.629882813  | 14.63961896 | 3.56E-05    | -0.630096436 | -2.24E-05 | 258   |
| -0.632324219  | 14.66403296 | 3.41E-05    | -0.632629395 | -2.16E-05 | 259   |
| -0.634765625  | 14.68844696 | 3.27E-05    | -0.635009766 | -2.07E-05 | 260   |
| -0.637207031  | 14.71286096 | 3.13E-05    | -0.637542725 | -1.99E-05 | 261   |
| -0.639648438  | 14.73727496 | 2.98E-05    | -0.639953613 | -1.91E-05 | 262   |
| -0.642089844  | 14.76168896 | 2.85E-05    | -0.642456055 | -1.83E-05 | 263   |
| -0.64453125   | 14.78610296 | 2.72E-05    | -0.644866943 | -1.75E-05 | 264   |
| -0.646972656  | 14.81051696 | 2.59E-05    | -0.647399902 | -1.68E-05 | 265   |
| -0.649414063  | 14.83493096 | 2.46E-05    | -0.649871826 | -1.60E-05 | 266   |
| -0.651855469  | 14.85934496 | 2.34E-05    | -0.65234375  | -1.52E-05 | 267   |
| -0.654296875  | 14.88375896 | 2.22E-05    | -0.654724121 | -1.45E-05 | 268   |
| -0.656738281  | 14.90817296 | 2.10E-05    | -0.657226563 | -1.38E-05 | 269   |
| -0.659179688  | 14.93258696 | 1.98E-05    | -0.659637451 | -1.31E-05 | 270   |
| -0.661621094  | 14.95700096 | 1.87E-05    | -0.662109375 | -1.24E-05 | 271   |
| -0.6640625    | 14.98141496 | 1.76E-05    | -0.664581299 | -1.17E-05 | 272   |
| -0.666503906  | 15.00582896 | 1.65E-05    | -0.667053223 | -1.10E-05 | 273   |
| -0.668945313  | 15.03024296 | 1.55E-05    | -0.669494629 | -1.04E-05 | 274   |
| -0.671386719  | 15.05465696 | 1.45E-05    | -0.671966553 | -9.72E-06 | 275   |
| -0.673828125  | 15.07907096 | 1.35E-05    | -0.674407959 | -9.08E-06 | 276   |
| -0.676269531  | 15.10348496 | 1.25E-05    | -0.676818848 | -8.45E-06 | 277   |
| -0.678710938  | 15.12789896 | 1.15E-05    | -0.679382324 | -7.82E-06 | 278   |



Příloha 8:

### Kolmý řez anodou článku



### Struktura vysoce porézního TiO<sub>2</sub>

