

## Plazmatem redukované grafen oxidové materiály

### Fáze vývoje technologie

#### Fáze 2

#### Výzkum proveditelnosti.

Dochází k reálnému návrhu technologie a k prvotním testům v laboratoři vedoucím k upřesnění požadavků na technologii a jejich schopností.

### Status IP ochrany

Národní přihláška vynálezu v prioritní lhůtě

### Strategie pro hledání partnera

Investice, Co-development, Spin-off, Spolupráce

### Instituce

**MUNI** Centrum pro transfer  
**CTT** technologií

Masarykova univerzita

### Motivace

Grafen je považován za zázračný materiál, který je 200x pevnější než ocel a má ideální elektrickou vodivost s potenciálem zlepšit vlastnosti mnoha produktů. Současné postupy výroby grafenu, a z grafenu odvozených materiálů, jsou velice komplikované a nedokonalé, což značně omezuje jeho industriální využití. Alternativou k přímé výrobě grafenu je redukce oxidu grafenu (GO), který je možné relativně levně a jednoduše vyrábět. Metody redukce jsou nejčastěji založené na termické redukci GO za vysoké teploty v inertní atmosféře, nebo na redukci využívající toxické chemické látky. Obě metody nesou ze své podstaty mnohá omezení (riziko požáru, únik chemických látek, komplikovaný výrobní postup), ale hlavně, výroba je časově zdlouhavá a energeticky náročná. Cílem našeho snažení bylo vyvinout metodu redukce-exfoliace GO, která by vyřešila všechna zmíněná omezení a umožnila ekonomicky rentabilní aplikaci grafenových materiálů v širokém spektru industriálních odvětví.

### Popis

Představená technologie využívá nízkoteplotní atmosférické elektrické plazma pro nastartování rychlé plazmatem iniciované redukce-exfoliace materiálů na bázi grafenu oxidu na tzv. redukovaný grafen oxid (rGO), s vlastnostmi částečně podobnými grafenu. Technologie je založená na využití inovativního a průmyslově ověřeného zdroje nízkoteplotního plazmatu, tzv. difúzního koplanárního povrchového bariérového výboje (Diffuse Coplanar Surface Barrier Discharge - DCSBD). Tato technologie využívá speciálně připravený grafen oxid, který je následně vystaven účinku nízkoteplotního atmosférického plazmatu. Speciální forma GO a optimalizovaný zdroj plazmatu s využitím vlastností termodynamiky redukční reakce proměny GO na rGO nám umožňuje extrémně rychle (~ 1s) a efektivně připravovat plazmatem redukovaný GO. Výsledky prokazují zlepšení elektrických vlastností rGO o 6 řádů. Výhody námi vyvinuté technologie jsou následující: • Technologie pracuje při atmosférickém tlaku, jako pracovní plyn využívá technický dusík a startuje při laboratorní teplotě. Maximální teploty dosahované během plazmatem iniciované redukce - exfoliace dosahují cca 250 oC (a to jenom v řádu desetin sekundy). Pro

porovnání, klasické metody redukce GO na rGO pracují při teplotě více jak 1000 oC v inertních a redukčních plynech. • Technologie je založená na využití DCSBD plazmové technologie. Jedná se o komerčně dostupnou, ověřenou a v průmyslu otestovanou technologii. Nejedná se tedy o prototypové laboratorní zařízení nebo koncept, který by bylo nutné otestovat. • Celá technologie je velice robustní ve smyslu absence jakýchkoliv extrémně citlivých a drahých komponent a komplikovaného přístrojového vybavení. • Technologie je od začátku koncipována jako kompatibilní s pásovou výrobou, tzv. roll-to-roll / in-line. Celý proces umožňuje relativně snadnou škálovatelnost až do industriálního měřítka za účelem výroby rGO materiálů velikých rozměrů s velkou výrobní kapacitou. • Plazmová redukce-exfoliace GO je velice rychlý proces trvající maximálně několik vteřin. Pro porovnání, klasická termická a chemická redukce GO jsou zdlouhavé procesy trvající řádově hodiny až desítky hodin. • Využití neizotermického plazmového procesu poskytuje možnost jednoduché modifikace rGO během samotného procesu a tím výrobu materiálů se specifickými vlastnostmi. Použitím specifické atmosféry při plazmové redukci je možné realizovat například dopování rGO (nitrogenace, fluorinace). Materiál je možné doplnit například nanočásticemi a tím vyrobit různé kompozity, nebo realizovat souběžnou redukci nanočástic oxidů různých kovů. • V souladu s výše uvedenými výhodami se jedná o velice energeticky efektivní výrobu s nízkou spotřebou energie a absence extrémně drahých a komplikovaných technologií snižuje vstupní investice a zlevňuje provozní náklady.

## Komerční využití

Komerční využití nachází grafenové materiály v aditivní výrobě, to znamená, že je možné implementovat grafen o různém složení, formě a vlastnostech, do již používaných výrobních postupů za účelem zlepšení mechanických, elektrických, tepelných a katalytických vlastností již dostupných výrobků. Zaměřujeme se momentálně na výrobu a optimalizaci vlastností tenkého papíru s tloušťkou méně než 100  $\mu\text{m}$ , vyrobeného z plazmatem redukovaného grafen oxidu, který by byl použitelný v energetickém průmyslu jako například náhrada neohebného vodivého substrátu v solárních panelech, nebo jako náhrada grafitu v lithiových bateriích za účelem zlepšení kapacity a rychlosti nabíjení. V současnosti pracujeme na optimalizaci výroby papíru z plazmatem redukovaného grafen oxidu za účelem jeho ověření jako elektrod v plochých knoflíkových bateriích typu CR2032. Dalším potenciálním využitím tenkého papíru z redukovaného grafen oxidu je zlepšení mechanických vlastností kompozitních materiálů jako jsou například laminované kompozity. Jiným příkladem využití

redukovaného grafenu v podobě papíru s přídavkem vybraných prvků z periodické soustavy je jeho využití jako katalyzátoru pro chemický průmysl, zejména výrobu amoniaku pomocí Haber-Boschovy metody nebo výrobu metanu z oxidu uhličitého pomocí Sabatierovy reakce. Zároveň naše technologie umožňuje připravit plazmatem redukovaný grafen oxid ve formě prášku nebo vysokoporézního aerogelu, které jsou aplikovatelné v mnoha dalších odvětvích průmyslu.