

## IV Warsztaty Naukowe Polskiego Towarzystwa Węglowego

„Nowe trendy w nauce o węglu”

2023

### KOMITET ORGANIZACYJNY:

- Przewodnicząca:** dr hab. inż. Aneta Frączek-Szczypta, prof. AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
- V-ce przewodniczący:** mgr inż. Jacek Ogórek, Tokai Cobex Polska Sp. z o.o.
- V-ce przewodnicząca:** dr hab. inż. Mirosława Pawlyta, prof. PŚ, Politechnika Śląska
- V-ce przewodniczący:** dr hab. Piotr Gauden, prof. UMK, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
- Sekretarze:** dr inż. Maciej Gubernat, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie  
mgr inż. Ryszard Wielowski, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie  
dr Piotr Kamedulski, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

### Miejsce warsztatów:

**Tokai COBEX Polska Sp. z o.o.**  
ul. Węgierska 188  
33-300 Nowy Sącz



*IV Warsztaty Naukowe PTW pt. „Nowe trendy w nauce o węglu” odbędą się 23 czerwca 2023 roku w siedzibie naszego Członka Wspierającego tj. w firmie Tokai Cobex Polska Sp. z o.o. w Nowym Sączu, mieście siedziby naszego Towarzystwa. Organizowane przez Polskie Towarzystwo Węglowe warsztaty odbywają się po raz trzeci. Do tej pory odbyły się trzy spotkania z tej serii: jedno w 2018 roku na Politechnice Wrocławskiej, drugie w 2019 roku na Politechnice Poznańskiej i trzecie w 2022 roku na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, w jednych z najważniejszych ośrodków akademickich w Polsce, w których prowadzi się badania naukowe nad węglem.*

*Warsztaty adresowane są do młodych naukowców i doktorantów. Udział w warsztatach jest okazją do poszerzania wiedzy o najnowszych trendach w badaniach nad węglem. Formuła warsztatów ma zachęcać młodych uczestników do udziału w pogłębionych dyskusjach nad przedstawianymi zagadnieniami. Podczas Warsztatów zostanie wygłoszone 9 referatów młodych naukowców, w tym 8 na zaproszenie. IV Warsztaty Naukowe PTW to także okazja do zwiedzania Zakładu Tokai Cobex Polska Sp. z o.o. w Nowym Sączu.*



## **PROGRAM**

**Nowy Sącz, 23 czerwca 2023**

<b><u>8:00 – 8:30</u></b>	<b>Powitanie w Tokai Cobex Polska i krótka prezentacja firmy Tokai Cobex</b>
<b><u>8:30 – 9:00</u></b>	<b>Krótkie szkolenie BHP i przygotowanie do zwiedzania zakładu</b>
<b><u>9:00 – 11:00</u></b>	<b>Zwiedzanie Zakładu Tokai Cobex Polska Sp. z o.o. w Nowym Sączu</b>
<b><u>11:00 – 13:00</u></b>	<b>I sesja referatów naukowych:</b>
11:00 – 11:30	<b><u>Marcel ZAMBRZYCKI<sup>1</sup>, Robert PIECH<sup>1</sup>, Sonia Ruiz RAGA<sup>2</sup>, Monica LIRA-CANTU<sup>2</sup>, Aneta FRĄCZEK-SZCZYPTA<sup>1</sup> ..... 7</u></b>
	<b>Hierarchical 3D nanocomposites of carbon nanofibers/disordered carbon nanotubes/NiCo nanoparticles as novel counter electrode for dye-sensitized solar cells: structure, electrochemical activity and electrical properties</b>
	<sup>1</sup> Faculty of Materials Science and Ceramics, AGH University of Science and Technology, Mickiewicza 30 Av., 30-059 Cracow, Poland
	<sup>2</sup> Catalan Institute of Nanoscience and Nanotechnology (ICN2), CSIC and the Barcelona Institute of Science and Technology (BIST), Building ICN2, Campus UAB, Bellaterra, E-08193 Barcelona, Spain
11:30 – 12:00	<b><u>Amelia KLIMEK, Sara AZMI, Elżbieta FRĄCKOWIAK ..... 8</u></b>
	<b>Intriguing role of hydrogen bond donor addition into neutral electrolyte for carbon based supercapacitor</b>
	Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry, Poznan University of Technology, Poland



- 
- 12:00 – 12:30      **Denis KOPIEC<sup>1</sup>, Aleksandra KORDYKA<sup>2</sup>, Paweł S. WRÓBEL<sup>2,3</sup>,  
Urszula SZELUGA<sup>3</sup>, Krzysztof KIERZEK<sup>1</sup> ..... 9**
- Aerożele węglowe o zróżnicowanej teksturze porowatej jako wydajne katody w ogniwach litowo-tlenowych**
- <sup>1</sup>Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Materiałów Polimerowych i Węglowych, Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska  
<sup>2</sup>Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk  
<sup>3</sup>Sieć Badawcza Łukasiewicz - PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii
- 12:30 – 13:00      **Dariusz ŁUKOWIEC<sup>1</sup>, Jerzy KUBACKI<sup>2</sup>, Piotr KAŁUŻYŃSKI<sup>3</sup>,  
Marcin PROCEK<sup>3</sup>, Stanisław WACŁAWEK<sup>4</sup>, Adrian RADOŃ<sup>5</sup> ..... 10**
- 2D nanostruktury węglowe jako nośniki dla nanocząstek stosowanych w sensoryce gazów przemysłowych**
- <sup>1</sup>Laboratorium Badania Materiałów, Politechnika Śląska, Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice  
<sup>2</sup>Instytut Fizyki im. Augusta Chełkowskiego, Uniwersytet Śląski, 75 Pułku Piechoty 1, 41-500 Chorzów  
<sup>3</sup>Katedra Optoelektroniki, Politechnika Śląska, Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice  
<sup>4</sup>Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovation, Technical University of Liberec, Studentská 1402/2, Liberec 1 461 17, Czech Republic  
<sup>5</sup>Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Metali Nieżelaznych, Sowińskiego 5, 44-100 Gliwice
- 13:00 – 14:00**      Lunch
- 14:00 – 16:10**      **II sesja referatów naukowych:**
- 14:00 – 14:30      **Kacper FIEDUREK<sup>1,3</sup>, Paweł SZROEDER<sup>2</sup>, Marek MACKO<sup>1</sup>,  
Aneta RASZKOWSKA-KACZOR<sup>3</sup>, Natalia PUSZCZYKOWSKA<sup>1,3</sup> ..... 12**
- Expandable graphite as flame retardancy agent for thermoplastic polymers**
- <sup>1</sup>Faculty of Mechatronics, Kazimierz Wielki University, Mikołaja Kopernika 1, 85-074 Bydgoszcz, Poland  
<sup>2</sup>Faculty of Physics, Kazimierz Wielki University, Powstańców Wielkopolskich 2, 85-090 Bydgoszcz, Poland,  
<sup>3</sup>Łukasiewicz Research Network, Institute for Engineering Polymer Materials and Dyes, Skłodowskiej-Curie 55, 87-100 Toruń, Poland



- 14:30 – 15:00      **Bartosz NOWACKI, Elżbieta FRĄCKOWIAK .....13**
- Flexible electrochemical capacitor based on carbon composites**
- Poznan University of Technology, Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry
- 15:00 – 15:30      **Paweł BINKOWSKI<sup>1</sup>, Jerzy P. ŁUKASZEWICZ<sup>1,2</sup>, Piotr KAMEDULSKI<sup>1,2</sup> ...14**
- Porównanie właściwości elektrochemicznych i biologicznych dla materiałów grafenowych**
- <sup>1</sup>Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Wydział Chemii, ul. Gagarina 7, 87-100 Toruń  
<sup>2</sup>Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Interdyscyplinarne Centrum Nowoczesnych Technologii, ul. Wileńska 4, 87-100 Toruń
- 15:30 – 16:00      **Ryszard WIEŁOWSKI, Marcel ZAMBRZYCKI, Maciej GUBERNAT,  
Marta KAMIŃSKA, Marcelina KOZIEJ, Aneta FRĄCZEK-SZCZYPTA.....15**
- Optymalizacja procesu otrzymywania kompozytów węgiel-węgiel jako potencjalnych materiałów elektrodowych dla celów leczenia chorób neurodegeneracyjnych**
- Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Katedra Biomateriałów i Kompozytów, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
- 16:00 – 16:10      **Katarzyna GAJEWSKA, Adam MOYSEOWICZ, Grażyna GRYGLEWICZ ...16**
- Enhanced energy density of reduced graphene oxide aerogel based-aqueous symmetric supercapacitor in redox-active electrolyte**
- Department of Process Engineering and Technology of Polymer and Carbon Materials, Faculty of Chemistry, Wrocław University of Science and Technology, Gdańska 7/9, 50-344 Wrocław
- 16:10 – 16:30      Podsumowanie i zakończenie IV Warsztatów Naukowych PTW**

**ABSTRAKTY -  
prezentacje na zaproszenie (8)  
prezentacja rapid-fire (1)**

## **Hierarchical 3D nanocomposites of carbon nanofibers/disordered carbon nanotubes/NiCo nanoparticles as novel counter electrode for dye-sensitized solar cells: structure, electrochemical activity and electrical properties**

Marcel ZAMBRZYCKI<sup>1</sup>, Robert PIECH<sup>1</sup>, Sonia Ruiz RAGA<sup>2</sup>, Monica LIRA-CANTU<sup>2</sup>,  
Aneta FRĄCZEK-SZCZYPTA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Materials Science and Ceramics, AGH University of Science and Technology, Mickiewicza 30 Av., 30-059 Cracow, Poland

<sup>2</sup>Catalan Institute of Nanoscience and Nanotechnology (ICN2), CSIC and the Barcelona Institute of Science and Technology (BIST), Building ICN2, Campus UAB, Bellaterra, E-08193 Barcelona, Spain

Dye-sensitized solar cells (DSSC) belongs to the group of new, emerging photovoltaic technologies, alternative to conventional non-organic semiconductor solar cells. DSSC can be produced in simple, low-energy expenditure production process, which can lead to reduction in costs and increase the general availability of solar cells. Due to its exceptional properties, platinum is usually used for counter electrodes (CE) for DSSC. Nonetheless, a scarcity, high price and problems with iodide-corrosion of platinum contributes to the drawbacks and limiting factors of DSSC technology.

In this work we present novel, highly efficient, Pt-free CE based on hierarchical nanocomposites: carbon nanofibers-disordered carbon nanotubes-NiCo nanoparticles (eCNF/dCNT/NiCo) [1]. The general aims of the research were to develop new type of Pt-free CE and to study how the structure impacts its electrical and electrocatalytical properties. The nanocomposites were obtained combining electrospinning and CCVD synthesis of nanotubes on the surface of nanofibers. By controlling the synthesis conditions we obtained series of samples differing with structural order, what allowed us to investigate the structure-property relationship of the materials. Conducted study revealed dependence of electric transport and electrocatalytical activity on defects concentration and surface chemistry of the dCNT. The nanocomposite electrodes demonstrated excellent electrochemical properties, as evidenced by remarkably low charge transfer resistance of  $0.93 \Omega \text{ cm}^2$ . The DSSC with eCNF/dCNT/NiCo CE showed high efficiency up to  $\eta = 7.08\%$ , exceeding values obtained for benchmark Pt-electrodes. Conducted study proves that presented nanocomposites can be used as highly-efficient, Pt-free CE for DSSC.

### **References**

[1] Zambrzycki et al., Carbon 203-(2023). doi:10.1016/j.carbon.2022.11.047.

**Acknowledgements:** Author would like thank Polish Carbon Society for providing financing for the presentation of this work at CARBON 2023 – World Conference on Carbon in Cancun, Mexico.

## **Intriguing role of hydrogen bond donor addition into neutral electrolyte for carbon based supercapacitor**

Amelia KLIMEK, Sara AZMI, Elżbieta FRĄCKOWIAK

Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry, Poznan University of Technology, Poland  
*amelia.klimek@doctorate.put.poznan.pl*

Activated carbons are commonly used electrode materials for electrochemical capacitors (ECs) because of their availability, low cost, high stability, conductivity, and large variety of morphologies. Aqueous-based electrolytes are inexpensive and have an environmentally accepted nature compared to commonly used hazardous organic medium. However, the working voltage of such aqueous EC is restricted thermodynamically to 1.23V. Yet, the practical voltage can be higher, up to 1.6V, when an electrolyte with a neutral pH, such as sulfate-based electrolytes, e.g.,  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  is used [1]. Nevertheless, there is an issue of corrosion of the current collector material in water medium and it cannot be neglected since it affects cycle life, efficiency, and EC capacitance [2].

This study advances understanding of the hydrogen bond donor network formulated by the interactions between hydrogen bond donor (urea) and neutral electrolyte (1M  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ) in carbon based EC. Moreover, the excellent corrosion-inhibiting character towards stainless steel (316L) current collectors and significantly longer cycle life of the EC based on 1M  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  with urea additive have been proven.

Numerous concentrations of urea additive (0.5, 1, 2M) to 1M  $\text{Li}_2\text{SO}_4$  for EC were tested, exploiting a stable EC operating voltage of 1.6V. Furthermore, commercially used activated carbons (Kynol 507-15, YP50F, YP80F, BP2000) with different specific surface area and pore size distribution were utilized for that purpose. Electrochemical characteristics were examined using cyclic voltammetry, galvanostatic charge-discharge and electrochemical impedance spectroscopy. The long-term performance of such systems was investigated by floating and cycling. Additionally, the gases released during 10h of floating were explored using the GC-MS experiment. Linear polarization and cyclic potentiodynamic polarization were conducted to reveal the corrosion potential and corrosion current of such electrolytes towards stainless steel. These studies were supported by Raman spectroscopy to confirm the morphology and corrosion phases on stainless steel samples before and after the experiment.

### **References**

- [1] A. Slesinski, S. Sroka, K. Fic, E. Frackowiak, J. Menzel, ACS Applied Materials & Interfaces, 14 (2022) 37782-37792.
- [2] S. Azmi, A. Klimek, E. Frackowiak, Anticorrosive performance of green deep eutectic solvent for electrochemical capacitor, Chemical Engineering Journal, 444 (2022) 136594



## **Aerożele węglowe o zróżnicowanej teksturze porowatej jako wydajne katody w ogniwach litowo-tlenowych**

Denis KOPIEC<sup>1</sup>, Aleksandra KORDYKA<sup>2</sup>, Paweł S. WRÓBEL<sup>2,3</sup>, Urszula SZELUGA<sup>2</sup>,  
Krzysztof KIERZEK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra Inżynierii Procesowej i Technologii Materiałów Polimerowych i Węglowych,  
Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska

<sup>2</sup>Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych Polskiej Akademii Nauk

<sup>3</sup>Sieć Badawcza Łukasiewicz - PORT Polski Ośrodek Rozwoju Technologii

Ogniwa litowo-tlenowe (Li-O<sub>2</sub>) są postrzegane jako jedno z rozwiązań na rosnące zapotrzebowanie na pojemność do magazynowania energii, szczególnie w układach przemysłowych oraz w sektorze samochodów elektrycznych. Duże zainteresowanie tym rodzajem ogniw wynika z ich dużej energii właściwej rzędu ok. 3 500 Wh kg<sup>-1</sup> [1]. Osiągnięcie tak dużej energii właściwej ogniw Li-O<sub>2</sub> jest wynikiem natury zachodzących reakcji – podczas rozładowania następuje reakcja redukcji tlenu (*ORR – Oxygen Reduction Reaction*), a w trakcie ładowania reakcja wydzielania tlenu (*OER – Oxygen Evolution Reaction*). Dzięki pracy w półotwartym układzie tlen może być doprowadzany i odprowadzany z ogniwa w trakcie jego pracy. Taki system pracy stawia wykorzystywanym materiałom dodatkowe wymagania, przed wszystkim materiałom katodowym, które muszą mieć wysoką powierzchnię właściwą, dużą zawartość mezoporów, aktywność katalityczną w ORR/OER oraz dobre przewodnictwo elektryczne [2]. Ze względu na te wymagania nanomateriały węglowe, w szczególności nanorurki węglowe, stały się powszechnie stosowanymi materiałami katodowymi. Wytwarzanie aerożeli z nanorurek węglowych pozwala na otrzymywanie katod, które nie wymagają nanoszenia na dodatkowy nośnik oraz stosowania lepiszczy. W prezentacji zostanie przedstawiona metoda syntezy aerożeli węglowych oparta na zamrażaniu dyspersji nanorurek w wodzie oraz następczej liofilizacji. Analizowany będzie wpływ stężenia nanorurek węglowych w początkowej dyspersji na strukturę porowatą otrzymanych aerożeli oraz na pracę ogniwa litowo-tlenowego.

### **Literatura**

[1] Kopiec, D., & Kierzek, K. (2022). Application of functionalized carbon nanotubes as the cathode of nonaqueous lithium-oxygen cells. *Solid State Ionics*, 385, 116007.

[2] Wang, K.X., Zhu, Q.C., Chen, J.S.: Strategies toward High-Performance Cathode Materials for Lithium-Oxygen Batteries. *Small* (Weinheim an der Bergstrasse, Germany). 14, (2018).

## **2D nanostruktury węglowe jako nośniki dla nanocząstek stosowanych w sensoryce gazów przemysłowych**

Dariusz ŁUKOWIEC<sup>1</sup>, Jerzy KUBACKI<sup>2</sup>, Piotr KAŁUŻYŃSKI<sup>3</sup>, Marcin PROCEK<sup>3</sup>,  
Stanisław WACŁAWEK<sup>4</sup>, Adrian RADOŃ<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Badania Materiałów, Politechnika Śląska, Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice

<sup>2</sup>Instytut Fizyki im. Augusta Chełkowskiego, Uniwersytet Śląski, 75 Pułku Piechoty 1,  
41-500 Chorzów

<sup>3</sup>Katedra Optoelektroniki, Politechnika Śląska, Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice

<sup>4</sup>Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovation,  
Technical University of Liberec, Studentská 1402/2, Liberec 1 461 17, Czech Republic

<sup>5</sup>Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Metali Nieżelaznych, Sowińskiego 5, 44-100 Gliwice

Niezmiernie ważnymi działaniami w aspekcie ochrony środowiska stanowi kontrola zanieczyszczenia gazami cieplarnianymi. Dodatkowo, w szybko zmieniającym się klimacie naszej planety oraz postępującego zanieczyszczenia, kontrola jakości powietrza będzie konieczna w naszych domach, samochodach czy budynkach użyteczności publicznej. Wiedza o nanostrukturach oraz technologii ich wytwarzania jest przedmiotem zainteresowania wielu ośrodków naukowych na całym świecie. Jednym z głównych obszarów, gdzie nanostruktury znajdują zastosowania są czujniki substancji chemicznych. Działanie takich układów polega na wykorzystaniu zjawisk zachodzących na granicy faz: ciało stałe – gaz lub ciało stałe – ciecz. Im stosunek powierzchni do objętości układu sensorowego jest większy, tym bardziej jest on wrażliwy na kontakt z gazem lub cieczą. Z tego względu uzasadnione jest wykorzystanie do konstrukcji takich systemów materiałów o silnie rozwiniętej powierzchni zewnętrznej. Do materiałów spełniających powyższe wymagania możemy zaliczyć nanostrukturalne materiały węglowe, a wśród nich: grafen, tlenek grafenu, grafit eksofoliowany, nanorurki węglowe. Na ich korzyść przemawia duża powierzchnia właściwa, wysokie przewodnictwo elektryczne oraz ciepłe, odporność chemiczna, możliwość funkcjonalizacji a co za tym idzie manipulacji własnościami, a także dostępność. Ponadto, wyniki licznych doniesień naukowych wskazują, iż osadzanie nanocząstek metalicznych typu Ag, Au, Pd, Pt na powierzchni nanostruktur może przyczynić się do znacznego zwiększenia gęstości nośników ładunków swobodnych, a zatem do poprawy przewodności cieplnej i elektrycznej tych struktur. A zatem, żeby zwiększyć ich czułość oraz sprawność działania dekoruje się ich powierzchnię nanocząstkami metalicznymi (Pt, Pd, Au, Ag) lub tlenkami metali (SnO<sub>2</sub>, ZnO, Cu<sub>2</sub>O) tworząc układ nanokompozytowy [1].

W niniejszej pracy omówiono metodę syntezy elektrochemicznej eksofoliowanego grafitu (EEG) oraz układów sensorowych zawierających nanocząstki srebra (AgNP) które zostały osadzone na powierzchni EEG. Wytworzone nanostruktury charakteryzowały się wysoką stabilnością w dyspersjach wodnych i etanolowych. Dzięki zastosowaniu

w procesie syntezy związków  $\text{CaCl}_2$  oraz  $\text{NaBH}_4$  otrzymano nanocząstki srebra wewnątrznie puste (tzw. hollow). Z kolei, zastosowanie metody fotoredukcji dostarczyło drobnych nanocząstek o owalnym kształcie. Dwa rodzaje nanocząstek Ag zostały naniesione na powierzchnię eksfoliowanego grafitu, a następnie określone ich rolę w sensoryce dwutlenku azotu przy różnych temperaturach pracy. Eksperymenty z detekcją gazu  $\text{NO}_2$  potwierdziły, iż stosunkowo niewielkie obciążenie nanocząstkami Ag (1,36% i 6,16% odpowiednio dla pustych i sferycznych) znacząco poprawia właściwości sensorowe EEG. Co więcej, przy wyższych temperaturach pracy ( $150^\circ\text{C}$ ) i stosunkowo wysokich stężeniach  $\text{NO}_2$  ( $>50$  ppm) można było zaobserwować charakterystyczną zmianę charakteru przewodnictwa (z typu p na n) dla obu materiałów. Układ sensorowy z mniejszym obciążeniem nanocząstek Ag (1,56 at%) wykazywał znacznie lepsze parametry dynamiczne (czas odpowiedzi i regeneracji) [1]. Ponadto, zaprezentowano dalsze perspektywy wykorzystania 2D nanostruktur węglowych jako nośników w sensoryce gazów.

#### Literatura

[1] Feng, S.; Farha, F.; Li, Q.; Wan, Y.; Xu, Y.; Zhang, T.; Ning, H. Review on Smart Gas Sensing Technology. *Sensors* 2019, *19*, 3760

[2] Łukowiec D., Kubacki J., Kałużński P., Procek M., Waclawek S., Radoń A., Formation and role in gas sensing properties of spherical and hollow silver nanoparticles deposited on the surface of electrochemically exfoliated graphite, *Applied Surface Science* 580, 152316, 2022

## Expandable graphite as flame retardancy agent for thermoplastic polymers

Kacper **FIEDUREK**<sup>1,3</sup>, Paweł **SZROEDER**<sup>2</sup>, Marek **MACKO**<sup>1</sup>, Aneta **RASZKOWSKA-KACZOR**<sup>3</sup>, Natalia **PUSZCZYKOWSKA**<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Mechatronics, Kazimierz Wielki University, Mikołaja Kopernika 1,  
85-074 Bydgoszcz, Poland

<sup>2</sup>Faculty of Physics, Kazimierz Wielki University, Powstańców Wielkopolskich 2,  
85-090 Bydgoszcz, Poland,

<sup>3</sup>Łukasiewicz Research Network, Institute for Engineering Polymer Materials and Dyes,  
Sktłodowskiej-Curie 55, 87-100 Toruń, Poland

Expandable graphite, due to its ability to expand at elevated temperatures, is attracting attention as a flame retardant and intumescent agent in flammable polymer matrices. In this work, synthesis, structure and properties of expandable graphite are presented, together with principles of influence on burning thermoplastic polymer materials and brief summary of self-made examinations is presented.

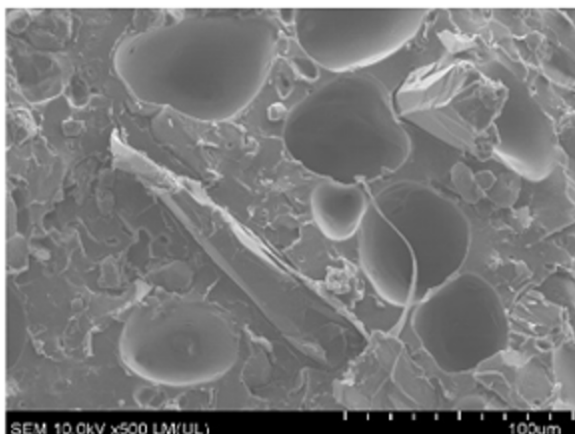


Fig. 1 expandable graphite flakes in PLA matrix

### References

- [1] Yakovlev, A. V., Finaenov, A. I., Zabud'kov, S. L., Yakovleva, E. V. Thermally Expanded Graphite: Synthesis, Properties, and Prospects for Use, *Russian Journal of Applied Chemistry* nov. 2006, 79(11):1741-1751
- [2] Pang Q, Kang F, Deng J, Lei L, Lu J, Shao S. Flame retardancy effects between expandable graphite and halloysite nanotubes in silicone rubber foam. *RSC Adv.* 2021 Apr 13;11(23):13821–31.
- [3] Modesti M, Lorenzetti A, Simioni F, Camino G. Expandable graphite as an intumescent flame retardant in polyisocyanurate–polyurethane foams. *Polymer Degradation and Stability.* 2002 Jan 1;77(2):195–202.
- [4] Tomiak F, Rathberger K, Schöffel A, Drummer D. Expandable Graphite for Flame Retardant PA6 Applications. *Polymers.* 2021 Jan;13(16):2733.
- [5] Grover T, Khandual A, Chatterjee kalesh nath, Jamdagni R. Flame retardants: An overview. 2014 Jan;61:29–36.
- [6] Chow W, Teoh E, Karger-Kocsis J. Flame retarded poly(lactic acid): A review. *Express Polymer Letters.* 2018 May 1;12:396–417.

**Acknowledgements:** The research is supported by the Implementation Doctorate I Programme financed by Ministry of Education and Science, Agreement No DWD/4/71/2020.

## **Flexible electrochemical capacitor based on carbon composites**

Bartosz NOWACKI, Elżbieta **FRĄCKOWIAK**

Poznan University of Technology, Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry  
bartosz.nowacki@put.poznan.pl

The main target of this research was to assemble a flexible electrochemical capacitor, which will consist of carbon electrodes coated with conducting polymers, i.e. polyaniline (PANI) and poly(3,4-ethylenedioxythiophene) and an organic compound – anthraquinone.

The conducting polymers and anthraquinone were deposited on a commercial Kynol<sup>®</sup> carbon cloth (K). The application of such a carbon material ensured that the systems were flexible, provided good electrical conductivity. Commercial carbon fabric has a well-developed specific surface area (SSA) and microporous texture which guarantee very good charge accumulation. It is also a suitable substrate for the embedding of conductive polymers and quinone derivatives. The porosity and pore size distribution of Kynol<sup>®</sup> carbon cloth were carried out by using nitrogen adsorption at 77 K. The first tested system was composed of PANI deposited on carbon cloth acting as the positive electrode and carbon cloth coated by anthraquinone (AQ) serving as the negative electrode of the supercapacitor. The second system was made up of carbon fabric with PANI as the positive electrode and cloth with PEDOT acting as the negative electrode. Electrochemical techniques such as cyclic voltammetry, galvanostatic charge and discharge were used to study the electrochemical performance of the pure carbon fabric, (+)KPANI //KAQ(-) and (+)KPANI // KPEDOT(-) systems. Swagelok<sup>®</sup> systems as well as flexible pouch cells under different bending angles have been utilized.

Electrochemical capacitor composed of PANI on the positive electrode and AQ on the negative electrode shows the best parameters, i.e. almost the double capacity of the system ( $73 \text{ F g}^{-1}$ ) compared to the capacity of the pure substrate ( $31 \text{ F g}^{-1}$ ). The flexible supercapacitor constructed on these materials is characterized by higher capacitance and diminished resistance with increasing the bending angle.

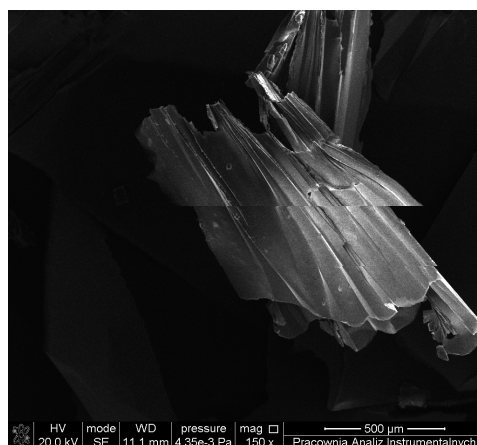
## Porównanie właściwości elektrochemicznych i biologicznych dla materiałów grafenowych

Paweł **BINKOWSKI**<sup>1</sup>, Jerzy P. **ŁUKASZEWICZ**<sup>1,2</sup>, Piotr **KAMEDULSKI**<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Wydział Chemii, ul. Gagarina 7, 87-100 Toruń

<sup>2</sup>Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Interdyscyplinarne Centrum Nowoczesnych Technologii,  
ul. Wileńska 4, 87-100 Toruń

Materiały węglowe, dzięki swojej różnorodności mają możliwość zastosowania w wielu dziedzinach życia człowieka. Materiały grafenowe wydają się jednymi z najbardziej przyszłościowych materiałów o szerokim zastosowaniu w sferze nowych technologii. Grafen może być wykorzystany w takich dziedzinach jak elektronika, energetyka, motoryzacja oraz chemia medyczna. Jego przełomowy charakter polega przede wszystkim na jego dwuwymiarowości oraz jego niezwykłych właściwościach. Głównie to brak przerwy energetycznej, bardzo wysoka ruchliwość jednowarstwowego grafenu, czy wysoka gęstość nośnika. Tlenek grafenu ma największy potencjał w wykorzystaniu w medycynie, farmacji oraz ochronie środowiska, a co więcej można znaleźć doniesienia o możliwym wykorzystaniu w elektronice. Na powierzchni tego materiału występują tlenowe grupy funkcyjne, które powodują, że tlenek grafenu jest izolatorem. Z kolei membrana z utlenionego grafenu jest całkowicie nieprzepuszczalna dla gazów, a jednocześnie przenikalna dla wody. Godne uwagi są również przeciwbakteryjne właściwości tego materiału.



Rys. 1 Obraz SEM płatka tlenku grafenu

### Literatura

- [1] Tyagi, Ayush, et al. *Nanoscale* 14.6 (2022): 2167-2176.
- [2] Mousavi, Seyyed Mojtaba, et al. *Drug metabolism reviews* 51.1 (2019): 12-41.
- [3] Huang, Xiao-Ming, et al. *Frontiers of Physics* 15 (2020): 1-70.

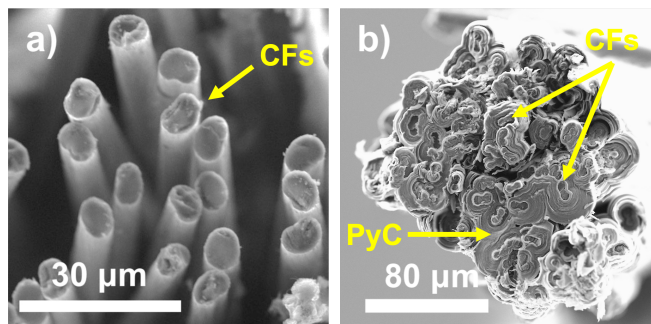
## Optimalizacja procesu otrzymywania kompozytów węgiel-węgiel jako potencjalnych materiałów elektrodowych dla celów leczenia chorób neurodegeneracyjnych

Ryszard **WIELOWSKI**, Marcel **ZAMBRZYCKI**, Maciej **GUBERNAT**, Marta **KAMIŃSKA**,  
 Marcelina **KOZIEJ**, Aneta **FRĄCZEK-SZCZYPTA**

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii  
 Materiałowej i Ceramiki, Katedra Biomateriałów i Kompozytów

Chorobami neurodegeneracyjnymi określa się choroby, które prowadzą do uszkodzenia neuronów w ludzkim mózgu. Zalicza się do nich między innymi chorobę Alzheimera czy Parkinsona, a te obecnie leczone są w dwojaki sposób – poprzez farmakologiczne spowolnienie rozwoju choroby w stadiach mniej zaawansowanych oraz chirurgicznie np. metodą głębokiej stymulacji mózgu (DBS) za pomocą sygnałów elektrycznych dostarczonych poprzez elektrodę wszczepioną do mózgu pacjenta. Potencjalnymi materiałami elektrodowymi są pręty na bazie włókna węglowego (CF) głównie ze względu na jego właściwości przewodzące, biokompatybilność i aby lepiej naśladować właściwości magnetyczne tkanki mózgowej w przeciwieństwie do stosowanych niektórych metali [1,2]. W tej pracy rdzeń pręta elektrody stanowią włókna węglowe (CFs) otoczone osnową z pirowęgla (PyC) wytworzone w układzie do chemicznego osadzania z fazy gazowej (CVD) z bezpośrednim grzaniem wiązki włókien. Użyto metanu ( $\text{CH}_4$ ) oraz acetyleny ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) jako prekursorów gazowych, dozowanych do nagrzanego reaktora w różnych stosunkach rozcieńczenia z azotem ( $\text{N}_2$ ) oraz różnych czasów syntezy węgla pirolitycznego. Powierzchnie prętów, funkcjonalizowano nanoformami węgla, w tym wielościennymi nanorurkami węglowymi (MWCNTs), wykorzystując metodę aerografu. Otrzymane próbki badano między innym za pomocą mikroskopii optycznej czy elektronowej (SEM, TEM). Określono także zwilżalność powierzchni, zaś badania elektryczne przeprowadzono metodą dwupunktową, a elektrochemiczne voltamperometrii cyklicznej (CV). Wykonano również wstępne badania biologiczne w warunkach in vitro.

Rys. 1 Obrazy z mikroskopii skaningowej:  
 a) przekroju wiązki włókien węglowych,  
 b) przekroju otrzymanego kompozytu C/C.



### Literatura

[1] D. Gallino et al., Brain Research, vol. 1715 (2019), 213–223

[2] M. A. Hejazi et al., Biomaterials, vol. 230 (2020), 119648

**Podziękowania:** Badania zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki w ramach grantu numer: UMO-2020/39/B/ST5/02126.

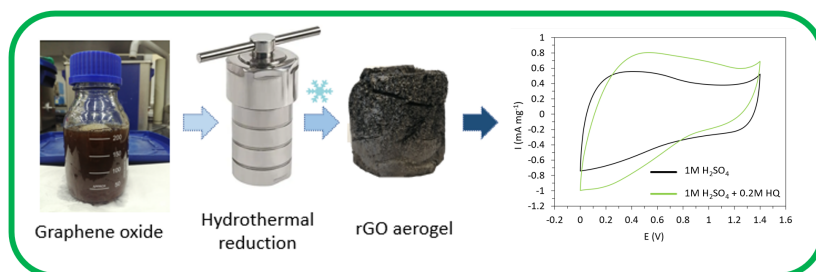
## Enhanced energy density of reduced graphene oxide aerogel based-aqueous symmetric supercapacitor in redox-active electrolyte

Katarzyna **GAJEWSKA**, Adam **MOYSEOWICZ**, Grażyna **GRYGLEWICZ**

Department of Process Engineering and Technology of Polymer and Carbon Materials, Faculty of Chemistry, Wrocław University of Science and Technology, Gdańska 7/9, 50-344 Wrocław

Graphene, and recently graphene aerogels, have been announced in the literature as outstanding electrochemical active materials for supercapacitors. Primarily, it is due to its excellent properties, including a high specific surface area, good thermal and electrical conductivity, and a stable and long lifespan. Energy density, as a key factor in electrochemical energy storage, is a point of interest for scientists. Taking into account the aqueous symmetric supercapacitor, its main drawback is its narrow operating voltage due to the thermodynamic potential of water decomposition, which is 1.23 V, causing issues with achieving high values of accumulated energy. One of the effective approaches for solving this problem is to use redox-active species to increase specific capacitance through a reversible subsequent oxidation and reduction reactions of the electrolyte, which results in enhanced energy density [1]. Moreover, awareness of ecological aspects forces the researchers to apply a simple and toxic-free method of material synthesis.

Herein, we present a two-step, eco-friendly, and simple approach for the synthesis of highly porous materials capable of storing an extraordinary amount of energy in symmetric devices based on aqueous electrolytes. Our approach which is based on hydrothermal reduction of graphene oxide (GO) [2] followed by freeze-drying (Fig. below) allows the use of materials in a configuration working in a wide potential window (1.4 V). The assembled full symmetric supercapacitor with 0.2 M hydroquinone (HQ) as a redox additive in the 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution is characterized by an energy density of 20.6 Wh kg<sup>-1</sup> which is 50% higher than that of 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> only (13.6 Wh kg<sup>-1</sup>). Furthermore, the presence of a redox-active compound allows the symmetric device to retain 98% of the initial capacitance after 12000 cycles.



The simple approach, consisting of the self-assembly of reduced graphene oxide via the hydrothermal route and the combination of an electrolyte enhanced with a redox-active substance, can be used in power energy storage devices. The high energy density



and long cycling stability observed in these lightweight graphene-based supercapacitors can be used to store energy every time when a fast charge/discharge is required.

#### **References**

- [1] M. Sandhiya, S. Balaji, M. Sathish, *Energy Fuels*, 34 (2020) 11536-11546
- [2] N. Díez, A. Śliwak, S. Gryglewicz, B. Grzyb, G. Gryglewicz, *RSC Adv.*, 5 (2015) 81831-81837

#### **Acknowledgements**

The following research was financially supported by a statutory activity subsidy from the Polish Ministry of Education and Science for the Faculty of Chemistry of Wrocław University of Science and Technology.