تحسين الغزل الكهربائي لألياف أكسيد النيكل النانوية لأجهزة تخزين الطاقة

اسم الطالبة: ريزوان قولي أحمدي توحيدي

اسم المشرفة: د. نهى علوي الحبشي

الملخص

في أطروحة الماجستير هذه، درسنا تأثيرات العوامل المتغيرة للغزل الكهربائي ومصادر النيكل على تشكل السطح لتركيبات أكسيد النيكل النانوية وخصائصها التخزينية الكهروكيميائية. اخترنا كحول عديد الفاينيل كداعم تعددي، ونترات النيكل وخلات النيكل كمصادر. أولًا، ضبطنا المعاملات المتغيرة للغزل الكهربائي بناءً على محلول كحول عديد الفاينيل/نترات النيكل، بحيث يكون تركيز نترات النيكل ٠,١ مول/لتر. عمليًا، وُجد أن تركيز ٨٪ من وزن كحول عديد الفاينيل، و٢٤ كيلو فولت من الجهد المطبق، و٠,٣ ميللتر/ساعة من معدل التغذية، و١٣ سنتيمتر من المسافة بين الإبرة والمُجمِّع هي المعاملات الأفضل للغزل الكهربائي لإنتاج ألياف كحول عديد الفاينيل/نترات النيكل النانوية المنتظمة بدون اندماج. ثم تم تكليس الألياف النانوية المتولدة بالشروط الأفضل عند حرارة 650 درجة مئوية لتكوين أكسيد النيكل النقي. مع ذلك، حصلنا على تركيب تغلب عليه جسيمات نانوية لأكسيد النيكل بدلاً من التركيب الليفي النانوي المطلوب. لذلك، جربنا زيادة تركيز نترات النيكل إلى ٠,٢ مول/لتر لإنتاج ألياف نانوية خالية من الجسيمات بواسطة تحسين قابلية التكثيف المتعدد لأكسيد النيكل. ولكن، تحققنا من أن التركيز الزائد لنترات النيكل يؤدي إلى التأثير بشدة على التوصيل الأيوني للمحلول ويسبب حالة غير مستقرة للغزل الكهربائي.

بدلًا من ذلك، عندما طبقنا الغزل الكهربائي بمحلول كحول عديد الفاينيل/خلات النيكل، تمكنّا من زيادة تركيز خلات النيكل إلى ٠,٥ مول/لتر. بناءً على ذلك حصلنا على ألياف نانوية منتظمة وناعمة لأكسيد النيكل بدون حبيبات ولا اندماج بعد عملية التكليس. تؤكد أطياف رامان تكوين أكسيد النيكل المشتق من كلٍّ من كحول عديد الفاينيل/نترات النيكل وكحول عديد الفاينيل/خلات النيكل. بالإضافة إلى ذلك، تشير نتائج حيود الأشعة السينية أن أكسيد النيكل المشتق من خلات النيكل لديه تركيب بلوري أفضل من أكسيد النيكل المشتق من نترات النيكل.

مبدئيًا تم تقييم أداء التخزين الكهروكيميائي لجسيمات أكسيد النيكل النانوية المشتقة من نترات النيكل وألياف أكسيد النيكل النانوية المشتقة من خلات النيكل باستخدام إعدادات نصف الخلية. بالمقارنة مع الجسيمات النانوية، تعطي الألياف النانوية سعة مساحية أعلى، وزمن شحن وتفريغ دوري أطول، ومقاومة نقل أقل. بالتالي، دمجنا ألياف أكسيد النيكل النانوية المشتقة من خلات النيكل مع أنابيب الكربون النانوية لصنع قطب كهربائي هجين. يعرض القطب الكهربائي الهجين سعة مساحية أعلى من الأقطاب الكهربائية النقية لأكسيد النيكل وأنابيب الكربون كلٍّ على حِده، بسبب حدوث كلٍّ من تفاعلات الأكسدة والاختزال العكسية والطبقات الكهربائية المزدوجة. يعطي القطب الكهربائي الهجين أيضًا قيم مستقرة للسعة المساحية عند مدى أعرض للتيار المساحي مع مقاومة نقل صغيرة بسبب التأثير التآزري بين ألياف أكسيد النيكل النانوية المشتقة من خلات النيكل مع أنابيب الكربون النانوية.

أخيرًا، اختبرنا أداء التخزين الكهروكيميائي ألياف أكسيد النيكل النانوية المشتقة من خلات النيكل مع أنابيب الكربون النانوية وبدونها كمكثفات فائقة ذات خلية كاملة. تم استخدام أكسيد النيكل كقطب كهربائي موجب في المكثف الفائق الأول، ينما تم استخدام أكسيد النيكل الهجين مع أنابيب الكربون كقطب كهربائي موجب في المكثف الفائق الثاني، وفي كلَي المكثفين وُضعت أنابيب الكربون أيضًا كقطب كهربائي سالب نظرًا لأداء تخزينها في الجهد السالب الأفضل من الجهد الموجب. مثل حالة النصف الخلية السابقة، المكثف الفائق الثاني المعتمد على القطب الهجين يُظهِر أداء أفضل للتخزين الكهروكيميائي من المكثف الفائق الأول المتعمد على القطب النقي.

بالإجمال، تستطيع أن تكون الأقطاب الهجينة المركبة من ألياف أكسيد النيكل النانوية مع أنابيب الكربون النانوية إحدى الأقطاب الكهربائية الواعدة لتطبيقات المكثفات الفائقة. بالرغم من ذلك، تظل بعض العقبات بحاجة إلى التغلب عليها قبل الاستخدام التجاري للأقطاب الكهربائية الجديدة، لذلك نقترح التوصيات التالية للأبحاث المستقبلية:

- يُوصَى بقياس المزيد من الخصائص التركيبية لأكسيد النيكل المغزول كهربائيًا – بالإضافة إلى التشكل والتبلور التي درسناها – مثل مثل حجم المسامات، مقدار المساحة النوعية، وخشونة السطح. ثم من المهم الربط بينها مع أداء التخرين الكهروكيميائي لأن انتشار الالكترولايت في القطب الكهربائي يعتمد بشدة على الخصائص التركيبة لمواد القطب.
- سيكون من المثير للاهتمام صنع أكسيد النيكل بتصاميم مختلفة عن الألياف النانوية المصمتة التي حضرناها، على سبيل المثال، الألياف المفرغة أو الأنابيب، والألياف ذات غلاف ولُب مختلف، وألياف داخل أنابيب، وأنابيب داخل أنابيب. قد تحسن مثل هذه الألياف من أداء المكثفات الفائقة بسبب احتوائها على تجاويف أكثر تسهل نفاذية الالكترولايت خلال المواد الهجينة المترابطة بقوة في الألياف.
- بالرغم من أننا حصلنا على صفيحة ليفية من أكسيد النيكل بعد تكليس كحول عديد الفاينيل/خلات النيكل المغزولة كهربائيًا، إلا أن هذه الصفيحة هشَّة وتحتاج إلى مادة لاصقة داعمة لتكوين قطب كهربائي متماسك على ركيزة مرنة. ربما يمكن صنع صفيحة قوية ميكانيكاً ومرنة من ألياف أكسيد النيكل المغزولة كهربائيًا، واستخداماها كأقطاب كهربائية خالية من أي مادة لاصقة، بواسطة التطعيم بالمعادن خلال عملية الغزل الكهربائي.

Optimizing Electrospinning Parameters of Nickel-based Nanofibers for Energy Storage Devices

Student Name: Reziwanguli Aihemaitituoheti

Supervisor Name: Dr. Nuha Alawi alhebshi

ABSTRACT

Supercapacitors have been considered as one of the main energy storage devices in the future due to their higher electric power density and longer cyclic performance than batteries. Recently, one-dimensional electrospun nanofibers serve as promising supercapacitor electrodes because of their high surface area, high porosity, lightweight, flexibility, and resistance to aggregation. In this study, we investigate the effects of optimizing electrospinning parameters and utilizing different nickel precursors on the formation of nanostructured nickel oxide, as well as on its electrochemical performance as supercapacitor electrodes. Smooth and uniform nanofibers without beads and accumulation are successfully synthesized using the required electrospinning voltage and the optimal concentration of the polyvinyl alcohol polymeric support within nickel precursors.

In contrast to the case of using nickel nitrate, increasing the nickel acetate molar concentration maintains the flexible fibrous sheet morphology of the as-spun sample during the polycondensation and calcination processes. As a result, our flexible electrode of NiO nanofibers derived from nickel acetate exhibits a maximum areal capacitance of 56 mF/cm^2 and a charge transfer resistance of 1 ohm which are considered as better electrochemical performance values than that of nickel nitrate-derived nickel oxide. Interestingly, such a systematic investigation of the correlation between material precursors and properties could support the electrodes development and hence promote the energy storage applications.

To further improve the electrochemical storage performance, we combined nickel oxide nanofibers with carbon nanotubes as a hybrid electrode. We compared the performance of nickel oxide nanofibers as a pure electrode with the hybrid electrode in half-cell and full-cell testing systems. In both cases, the hybrid electrode displays a higher and more steady areal capacitance than that of the pure electrode, due to the synergetic effect between the nickel oxide nanofibers and carbon nanotubes. Altogether, this work demonstrates the effectiveness of the hybrid electrodes based on the electrospun nanofibers for the supercapacitor applications.