طباعة مكثفات فائقة مرتكزة على مركبات نانوية من ثاني أكسيد الفاناديوم

إعداد

بشائر عبدالله منياوي

رسالة مقدمة لنيل درجة الماجستير في العلوم

(الفيزياء / فيزياء أشباه الموصلات والإلكترونيات)

إشراف

د. نهى علوي الحبشي

د. أمل محمد العمري

كلية العلوم

جامعة الملك عبد العزيز

المملكة العربية السعودية

1444 هـ - 2022 م

المستخلص

في الوقت الحاضر، هُناك اهتمام كبير بالإلكترونيات المطبوعة المرنة التي يتم تصنيعها بتكاليف منخفضة وبكميات كبيرة. تُعتبر المكثفات الفائقة واعدة نظرًا لكثافة طاقتها العالية واستقرارها وعمرها الطويل. تشتهر طباعة الشاشة بالإنتاج الضخم لأجهزة تخزين الطاقة، ومع ذلك، لا يزال أحد التحديات الرئيسية هو إعداد أحبار عالية الجودة. في هذه الأطروحة، تم تصنيع أحبار متجانسة ومستقرة تعتمد على الطور أحادي الميل لجسيمات ثاني أكسيد الفاناديوم الميكروية والجسيمات النانوية عن طريق عملية حرارية مائية بسيطة في ٦ ساعات فقط ومن خلال محاليل غير سامة. يُطبع حبر الجسيمات الميكروية لثاني أكسيد الفاناديوم على ركيزة كابتون في طبقة واحدة وكذلك بترتيب من طبقتين. يُطبع حبر الجسيمات النانوية لثاني أكسيد الفاناديوم أيضًا في طبقة أحادية وهجين بحبر نانو الذهب. أظهر قطب ثاني أكسيد الفاناديوم المطبوع أحادي الطبقة سعة قصوى ملحوظة تبلغ ٢٠ ملي فاراد/سم ^{٢} مع مقاومة سلسلة مكافئة صغيرة تبلغ ٤ أوم دون إضافات موصلة. علاوة على ذلك، فإن الطاقة المساحية القصوى للمكثف الفائق ذو الطبقة المزدوجة المطبوعة هي ٠,٨ ميكروواط.ساعة/سم ^{٢} بقدرة مساحية تبلغ ٢١ ميكروواط/سم^{٢}، وهي أكبر من الطبقة المفردة ذات ٠,٢ ميكروواط.ساعة/سم^{٢} عند ١٧,٥ ميكروواط/سم^{٢}. يُستخدم بشكل فعال هذا المكثف الفائق المتداخل ذو الخلية الكاملة من ثاني أكسيد الفاناديوم آليات الطبقة الكهربائية المزدوجة والأكسدة والاختزال الفارادي عند ١,٤ فولت، وهو أعلى جهد تشغيل تم الإبلاغ عنه للمكثفات الفائقة القائمة على أقطاب أكسيد الفاناديوم النقي في إلكتروليتات مائية غير عضوية. إلى جانب ذلك، أظهرت خصائص التخزين الكهروكيميائية للقطب الهجين للجسيمات النانوية من ثاني أكسيد الفاناديوم والذهب سعة مساحية تبلغ ١٦ ملي فاراد/سم^{٢} أعلى من القطب النقي لجسيمات ثاني أكسيد الفاناديوم النانوية. يتم استخدام التصميم المتوازي للقطب الهجين مما يعزز إلى حد كبير أداء المكثف الفائق، مقارنة بالمكثف الفائق الذي يستخدم الأقطاب المتماثلة. قد يؤدي دمج هذه المكثفات الفائقة المطبوعة في الأجهزة الإلكترونية ذات الأغشية الرقيقة إلى تطوير الأجهزة المحمولة.

الكلمات المفتاحية: طباعة الشاشة، ثاني أكسيد الفاناديوم، حبر، أغشية رقيقة، مكثفات فائقة، جسيمات ميكروية، جسيمات نانوية

PRINTING OF SUPERCAPACITORS BASED ON NANOCOMPOSITES OF VANADIUM DIOXIDE

By: Bashaer Abdullah Minyawi

A thesis submitted for the requirements of the degree of Master of Sciences (Physics / Semiconductor Physics and Electronics)

Supervised By
Dr. Nuha Alawi Alhebshi
Dr. Amal Mohammed Alamri

FACULTY OF SCIENCE
KING ABDULAZIZ UNIVERSITY
SAUDI ARABIA
1444H - 2022G

ABSTRACT

Nowadays, there is great interest in flexible printed electronics that are manufactured at low costs and in large quantities. Supercapacitors hold great promise due to their high-power density, stability, and long cycle life. Screen printing is well known for the mass production of energy storage devices, however, one of the major challenges remains in preparing high-quality inks. In this thesis, homogenous and stable inks based on the monoclinic phase of VO_2(M) microparticles and nanoparticles have been synthesized by a simple hydrothermal process in only 6 h and through nontoxic solutions. The VO_2 microparticle ink is printed on a Kapton substrate in a single-layer as well as in a double-layer arrangement. The VO_2 nanoparticle ink is also printed in a single-layer and hybrid with nanogold ink. The printed single-layer VO_2 electrode showed a remarkable maximum areal capacitance of 20 mF/cm^2 with a small equivalent series resistance of 4 ohms without conducting additives. Moreover, the maximum areal energy of the double-layer printed supercapacitor is 0.8 µWh/cm^2 at an areal power of 21 µW/cm^2, which is larger than the single-layer of 0.2 µWh/cm^2 at 17.5 µW/cm^2. This interdigitated full-cell VO_2 supercapacitor effectively employs the electric double-layer and faradic redox mechanisms at 1.4 V, which is the highest operating voltage reported for supercapacitors based on pure vanadium oxide electrodes in aqueous inorganic electrolytes. Besides, the electrochemical storage properties of the hybrid electrode of VO_2/Au nanoparticles showed an areal capacitance of 16 mF/cm^2 higher than the pure electrode of VO_2 nanoparticles. The parallel hybrid electrodes design is utilized, which greatly considerably enhances the supercapacitor's performance, compared with the supercapacitor that only uses identical electrodes. Integrating such printed supercapacitors into thin-film electronics could develop portable devices.

Keywords: screen printing, vanadium dioxide, ink, thin-films, supercapacitors, microparticles, nanoparticles