تر انزستورات أغشية أكسيد المعدن الرقيقة موجبة القطبية ذات القناة متعددة الطبقات والبو ابة عالية العزل

أسماء يوسف حسين مظفر

إشراف

أ.د هالة عبد العزيز الجوهري

المستخلص

برزت أكاسيد المعادن كمواد واعدة لتشكيل إلكترونيات ا لمستقبل المرنة والشفافة. وقد تم بالفعل دراسة العديد من أكاسيد المعادن ذات النوع n، مثل a-IGZO، حيث أثبتت جدواها كقنوات فعاله لترانزستورات الأغشية الرقيقة (TFTs). ورغم ذلك، فإن الحصول على ترانزستورات الأغشية الرقيقة عالية الأداء من النوع p لايزال صعب التحقيق. لهذا فإن هذه الدراسة مكرسة للبحث عن إمكانية تحسين أداء ترانزستورات الأغشية الرقيقة من النوع p بواسطة استخدام بوابة عالية العزل من جهة، واستخدام نظام القنوات متعددة الطبقات من جهة أخرى . علاوة على ذلك، تمت دراسة تأثير صقل جانبي قناة الترانزستور على أدائه.

على وجه التحديد، ومن خلال الجزء الأول من هذه الرسالة، كنا نهدف إلى تحسين الخصائص العازلة للأغشية الرقيقة المترسبة من مادة تيتانات السترونتيوم ($SrTiO_3$ (STO) وذلك من خلال التحقق من تأثير التلدين بدرجات حرارة مختلفة وتأثير استخدام نسبتين مختلفة من الأكسجين التفاعلي. أظهرت دراستنا، أن الأفلام المترسبة تحت قوة معتدلة (٦٠ واط) وأوكسجين بنسبة ١٠٪ والمسخنة عند حرارة ٣٠٠ درجة مئوية لمدة ساعة تتمتع بخصائص هيكلية وكهربائية عالية. على وجه التحديد، أظهرت الأفلام المسخنة عند ٣٠٠ درجة مئوية تميزها بسطح ناعم وقيمة متوسط الجذر التربيعي لها تساوي 0.17 نانومتر، ثابت عزل مرتفع يساوي ٥٤ و معدل منخفض لفقد الطاقة يساوي 0.12 عند تردد يساوي واحد ميغاهيرتز. تجدر الإشارة إلى أن تأثير تطبيق التنشيط الضوئي العميق للأوزون فوق البنفسجي (DUV) على $SrTiO_3$ -كطريقة تلدين بديلة منخفضة الحرارة- تم التحقيق فيه بشكل شامل. على الرغم من أن أفلام $SrTiO_3$ المنشطة ضوئيًا أظهرت خصائص عازلة مقبولة، إلا أنه لا يمكن تطبيقها كمادة عازله لترانزستورات الأغشية الرقيقة نظرًا لخشونة سطحها العالية.

تم تخصيص الجزء الثاني من هذه الرسالة لدراسة الخصائص الكهربائية للأغشية الرقيقة من أكسيد النحاس (Cu_2O) بحيث يمكن استخدامها كقناة من النوع p في ترانزستورات الأغشية الرقيقة المصنعة لدينا. لهذا الغرض، تم استخدام التطعيم بالنيتروجين (N_2) لتعزيز توصيل حوامل الشحنة الموجبة بالقناة، بينما تم

استخدام طبقة رقيقة من ثالث أكسيد الموليبدينوم (MoO_3) لصقل الجوانب الخلفية والأمامية للقناة. على الجانب العلوي، كانت طبقة MoO_3 الرقيقة قادرة على التحكم في توصيل القناة الخلفية من خلال تشكيل مسار سطح ذو مقاومة عالية وبالتالي تقليل مقدار تيار التسرب. بينما في الجانب السفلي، أدى ترسيب MoO_3 إلى تكوين طبقة صقل بين شبه الموصل والعازل الكهربائي (Cu_xO / $SrTiO_3$) مما ساعد على تقليل كثافة الحالة البينية (D_{it}) بمقدار أس عشري واحد. من خلال ضبط شروط تطعيم القناة بالنتروجين واستخدام تصميم القناة ثنائية الطبقات، تم تحسين خصائص التحول لدرجة أفضل . فقد حقق الترانزستور ذي القناة الثنائية مصقولة الطرفين منحدر عتبة فرعي(SS) يبلغ ٠,١٤ فولت في الثانية، ونسبة تيار التشغيل (I_{on}/I_{off}) تبلغ 2.7×10^6 ، وحركية تأثير مجال (μ_{FE}) تبلغ ٠,١١ سم^2 /فولت.ثانية، والذي يعد تحسناً كبيراً في الأداء مقارنةً بترانزستورات الأغشية الرقيقة الغير المطعمة والغير مصقولة.

الكلمات المفتاحية: أكسيد النحاس- تيتانات السترونتيوم عالية العزل- ثالث أكسيد الموليبدينوم - التنشيط الضوئي بالأوزون والاشعة الفوق بنفسجية العميقة -ترانزستورات الأغشية الرقيقة ذات القناة متعددة الطبقات .

P-Type Metal Oxide Thin Film Transistors with Multilayer Channel and High-permittivity Gate Dielectric

Asmaa Yousef Hussain Mudhaffar

Supervised By
Prof. Hala Al Jawhari

Abstract

Metal oxides have emerged as promising materials to shape our future transparent flexible electronics. Several n-type oxides, such as a-IGZO, have been already studied and demonstrated their viability as active materials in thin film transistors (TFTs). Nonetheless, high performance p-type TFTs have remained hard to achieve. This study is devoted to investigate the capability of improving the performance of p-type TFTs by utilizing a high- κ gate dielectric material, on one hand, and employing the multilayer channel scheme, on the other. Moreover, the effect of buffering both sides of the transistor channel was explored.

Specifically, through the first part of this thesis, we aimed to optimize the dielectric characteristics of sputtered strontium titanate $SrTiO_3$ (STO) thin films by investigating different annealing temperatures and two reactive oxygen ratios. Our exploration showed that films fabricated under a moderate power (60W), 10% O_2 (STO^{10}) and annealed at 300ºC for 1hr have most elevated structural and electrical properties. Namely, STO^{10} @300 films revealed a smooth surface with RMS= 0.17 nm, high- κ of 54 and low energy loss of 0.12 at 1MHz. Noteworthy, the effect of applying Deep Ultraviolet-Ozone (DUV) photo-activation on STO as an alternative low-temperature approach was comprehensively investigated. Although the photoactivated STO films showed moderate dielectric properties, they could not be applied as TFT's gate insulator due to their high surface roughness.

The second part of this thesis is assigned to adjust the electrical properties of sputtered cuprous oxide (Cu_2O) thin films so they can be employed as the p-type channel in our fabricated TFTs. For this purpose, nitrogen (N_2) was used as a dopant to enhance the channel hole-conduction, while thin layer of molybdenum trioxide (MoO_3) was utilized to buffer back and front sides of the channel. On the top side, the thin MoO_3 layer was capable of controlling the back-channel phase by forming a high resistance surface-path and hence reducing the drain off-current. While on the bottom side, the MoO_3 layer worked as a buffer layer at the semiconductor/dielectric (Cu_xO /$SrTiO_3$) interface which helped reducing the interface states density D_{it} by one order of magnitude. Via optimizing the N_2-doping conditions and applying the bilayer channel

scheme, switching characteristics were enhanced even more. Our best double-buffered bilayer TFT achieved a subthreshold swing of 0.14 $V.dec^{-1}$, an on/off current ratio (I_{on}/I_{off}) of 2.7×10^{6}, and a field-effect mobility (μ_{FE}) of 0.11 $cm^2.V^{-1}.s^{-1}$, a considerable enhancement in performance compared to that of non-doped non-buffered Cu_xO TFTs.

Keywords: Sputtered cuprous oxide - High-κ strontium titanate - Sputtered molybdenum trioxide- Deep ultraviolet-ozone photoactivation - Multilayer channel thin film transistors.