



بررسی اثر پرتو گاما بر روی خواص الکتریکی لایه نازک TeO_2

توحیدی، توکل* - تقوی، مهدی

پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها - مجتمع پژوهشی شمال غرب کشور (بناب)

چکیده:

دی اکسید تلوریم (TeO_2) یکی از نیمه رساناهای مهم با خواص فیزیکی و شیمیایی که آن را برای مطالعات پایه و کاربردهای تکنولوژیکی هم در ساختار بی شکل و هم در ساختار بلوری مناسب می‌سازد، است. کاربردهای گوناگونی در قطعات اپتیکی، آشکار سازهای تابش گاما و سنسورهای گازی دارند بنابراین با توجه به خواص جالب آن مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این کار لایه‌های نازک TeO_2 به روش لایه‌نشانی تبخیر حرارتی در سه ضخامت مختلف تهیه شده، و تاثیر اشعه گاما بر خواص الکتریکی این لایه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: دی اکسید تلوریم، لایه نازک، تابش گاما، خواص الکتریکی.

Investigation of gamma irradiation effect on electrical properties of TeO_2 films

Tohidi, Tavakkol; Taghavi, Mahdi

Northwest Research Complex, Radiation Application Research School, NSTRI, Bonab, Iran

Abstract:

Tellurium dioxide (TeO_2) is an interesting semiconductor, both in its crystalline and amorphous forms, with physical and chemical properties that make it suitable for fundamental theory and for technological applications. TeO_2 finds application in optical devices, γ -ray detectors, and gas sensors. So, according to the interesting properties of this material it has been investigated by researchers. In this work, the TeO_2 thin film with three different thicknesses has been prepared by thermal evaporation system and the effect of gamma irradiation on electrical properties has been investigated.

Keywords: TeO_2 , Thin film, Gamma irradiation, Electrical properties.



۱- مقدمه:

در طی سال‌های اخیر، اکسیدهای فلزی بطور گسترده در کاربردهای تکنولوژیکی نظیر پوشش‌دهی، کاتالیزور، الکتروشیمیایی، فیبرهای نوری، سنسورها و غیره مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اکسیدهای فلزی ترکیبی، با خواص مختلف برای کنترل دُز تابش بر حسب حساسیت شان به تابش گاما و ناحیه دُز کاری به کار برده می‌شوند. دی‌اکسید تلوریم (TeO_2) یک اکسید فلزی چند منظوره با گاف انرژی عریض و یکی از مواد مهم آکسید اپتیکی و الکترواپتیکی با انواع ویژه‌گی‌های مطلوب شامل رفتار کشسانی، ضریب شکست بالا و کیفیت اپتیکی خوب می‌باشد [۱].

روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی برای ساخت لایه‌های نازک گزارش شده است. از روش‌های فیزیکی می‌توان به تبخیر در خلاء، دیواره گرم و اپیتاکسی اشعه مولکولی اشاره کرد. روش‌های شیمیایی شامل اسپری پیرولیز، لایه‌نشانی حمام شیمیایی و لایه‌نشانی الکتروشیمیایی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

خواص مختلف لایه‌های نازک TeO_2 روی زیر لایه‌های مختلف توسط محققان بررسی شده است. لایه‌های نازک TeO_2 توسط Siciliano و همکارانش جهت بررسی خواص حسگری آن نسبت به گاز آمونیاک لایه‌نشانی شد [۲]. هم چنین توسط این گروه در سال ۲۰۱۰ اثر زمان بازپخت حرارتی روی خواص اپتیکی و ساختاری لایه‌های نازک TeO_2 بررسی شد [۳]. کارهایی در راستای بررسی اثر تابش گاما روی خواص ساختاری و اپتیکی لایه‌های نازک اکسیدهای فلزی از جمله TeO_2 جهت رسیدن به شرایط مناسب برای کاربرد به عنوان دزیمتر انجام گرفته است [۴-۷]. در این کار لایه نازک TeO_2 به روش تبخیر حرارتی تهیه شده و تاثیر اشعه گاما بر روی خواص الکتریکی که در اینجا تغییر در جریان در اثر اعمال ولتاژ می‌باشد مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- روش کار:

لایه‌های TeO_2 با روش‌های مختلفی قابل تهیه است. در این کار از روش تبخیر در خلاء برای تهیه نمونه‌ها استفاده شده است. زیرلایه‌ایی که برای لایه‌نشانی فیلم نازک مورد استفاده قرار گرفت از نوع شیشه‌های اپتیکی با ابعاد $1 \text{ mm}^3 \times 1$ بوده است. برای تمیزکاری زیرلایه‌ها، در ابتدا در اسید نیتریک رقیق به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند. سپس با آب مقطر شسته شده و در داخل استون قرار داده شده و در آلتراسونیک به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند. در نهایت با آب مقطر شسته شدند.

برای تمیزکاری زیرلایه‌ها و در طول مراحل مختلف کار از دستگاه اولتراسونیک ساخت کشور چین استفاده شده است. جهت خشک کردن نمونه‌ها از آون الکتریکی استفاده گردید. برای آنالیز EDAX از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل EVD18-Ziess ساخت کشور آلمان استفاده گردید.



الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) توسط پراش سنج اشعه ایکس مدل STADI-MP-STOE با منبع تابش $\text{CuK}\alpha(\lambda=1.5406 \text{ \AA})$ تولید شده در ولتاژ 40 kV و جریان 35 mA ثبت گردید. نمونه‌ها در محدوده $10^\circ-80^\circ$ با سرعت روبش 5° min^{-1} روبش گردید.

از سامانه پرتودهی چند منظوره مجتمع پژوهشی شمال غرب کشور برای پرتودهی نمونه‌ها با چشمه کبالت 60 در دزهای تعیین شده استفاده گردید. برای اندازه‌گیری جریان الکتریکی از پیکوآمپر متر کیتلی (KEITHLEY 6485 Pico Ammeter) استفاده گردید. برای ضخامت‌های 90 و 140 نانومتر هر کدام 3 عدد نمونه و برای ضخامت 230 نانومتر 12 عدد نمونه با شرایط یکسان (برای هر دُز سه عدد نمونه) انتخاب گردید و متوسط داده‌ها در نمودارها رسم شده است. خطای اندازه‌گیری برای ضخامت‌ها و دزهای مختلف متفاوت بود ولی این خطا از 3 درصد بیشتر نبود.

۳- بحث و نتایج

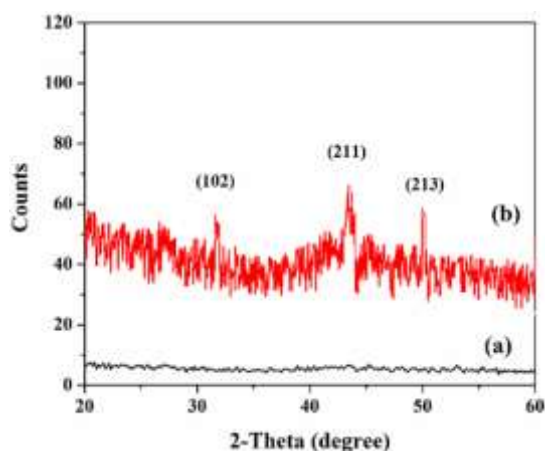
۳-۱- پراش اشعه X

یکی از متداولترین روشها برای مطالعه ساختار نمونه‌ها روش پراش اشعه X می‌باشد. شکل (a) ۱ پراش اشعه ایکس مربوط به لایه‌ی نازک نانوساختاری TeO_2 با ضخامت 230 nm را قبل از تابش نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که به خاطر آمورف بودن لایه نازک TeO_2 قبل از بازپخت هیچ‌گونه پیک مشخصی در پراش اشعه X وجود ندارد. شکل (b) ۱ پراش اشعه ایکس مربوط به لایه‌ی نازک نانوساختاری TeO_2 با ضخامت 230 nm را بعد از تابش در دز 20 گری را نشان می‌دهد. پیک‌های مشاهده شده در زاویه‌های 31° ، 43° و 52° به ترتیب مربوط به صفحات میلر (۱۰۲)، (۲۱۱) و (۲۱۳) می‌باشد که البته دارای شدت ضعیفی می‌باشند. دو پیک اولی مربوط به ساختار کریستالی چهار گوشه TeO_2 بر اساس کارت استاندارد شماره ۴۲-۱۳۶۵ و پیک آخری مربوط به ساختار کریستالی اورتورومبیک TeO_2 مطابق کارت استاندارد شماره ۰۹-۴۳۳ می‌باشد [۳]. در اینجا فاز چهار گوشه، فاز غالب نسبت به فاز اورتورومبیک است. باید در نظر داشته باشیم که به منظور تعیین ساختار بلوری ماده با روش XRD، یک اندازه معینی از دانه‌های بلوری مورد نیاز است. تابش گاما تأثیر معنی‌داری روی میکروساختار لایه‌های نازک می‌گذارد. از جمله می‌توان به کلوخه شدن در اندازه‌های مختلف اشاره کرد. به همین دلیل بعد از تابش با اشعه گاما بلوری شدن جزئی با روش XRD مشاهده می‌گردد [۸].

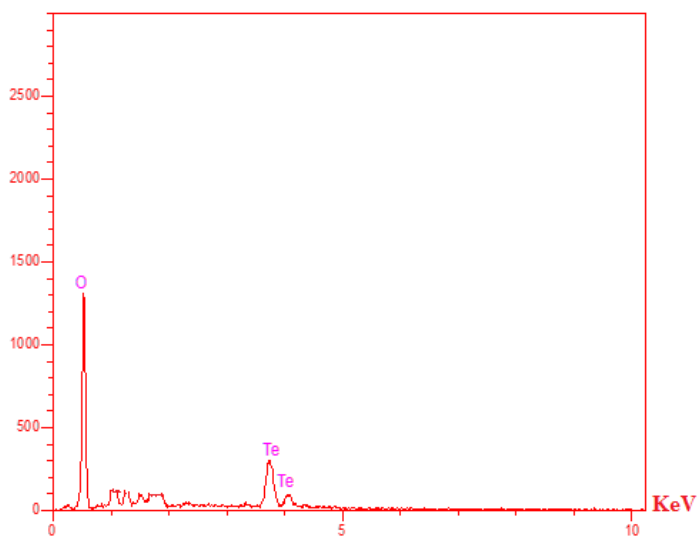
۳-۲- آنالیز EDAX



شکل ۲ تصویر EDAX مربوط به نمونه‌ایی از لایه‌ی نازک TeO_2 با ضخامت ۲۳۰ نانومتر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که لایه‌ی TeO_2 از عناصر Te و O بدون وجود ناخالصی‌های دیگر تشکیل یافته است. درصد وزنی و اتمی عناصر Te و O به ترتیب ۵۶/۱۱، ۱۳/۸۲ و ۴۳/۸۹، ۸۶/۱۸ می‌باشند.



شکل ۱: طیف پراش اشعه X لایه‌ی نازک TeO_2 (a) قبل از تابش و (b) بعد از تابش در دز ۲۰۰ گری

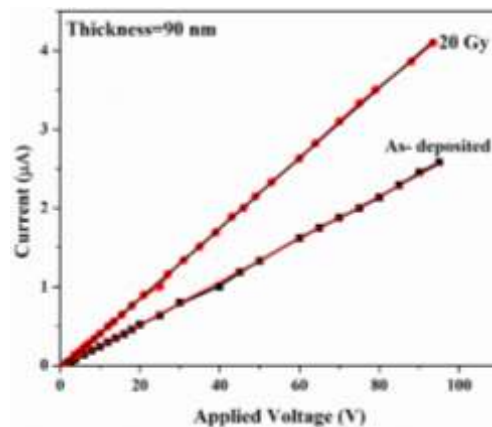


شکل ۲: تصویر EDAX لایه‌ی نازک TeO_2 با ضخامت ۲۳۰ نانومتر



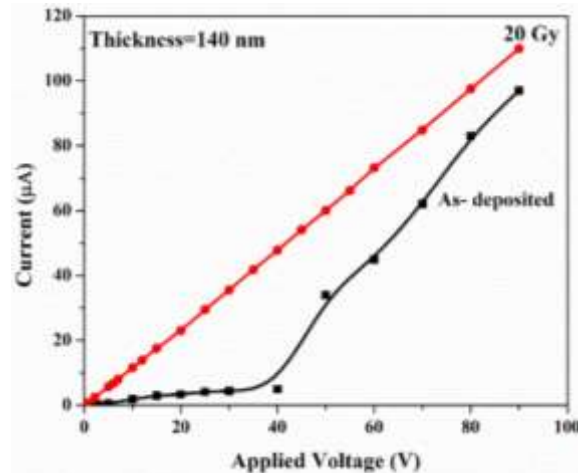
۳-۳- بررسی اثر تابش روی خواص الکتریکی لایه نازک TeO_2

در شکل ۳ منحنی جریان بر حسب ولتاژ برای لایه نازک TeO_2 با ضخامت ۹۰ نانومتر قبل و بعد از تابش در دز ۲۰ گری را نشان می‌دهد. با مقایسه منحنی‌ها مشاهده می‌شود که دز تابشی در جریان نمونه‌ها تاثیر دارد و با اعمال تابش، جریان به طور خطی افزایش یافته است.



شکل ۳: منحنی جریان بر حسب ولتاژ برای لایه با ضخامت ۹۰ نانومتر قبل و بعد از تابش در دز ۲۰ گری

در شکل ۴ منحنی جریان بر حسب ولتاژ برای لایه با ضخامت ۱۴۰ نانومتر قبل و بعد از تابش در دز ۲۰ گری رسم شده است. باز با مقایسه منحنی‌ها مشاهده می‌شود که تابش گاما در جریان نمونه‌ها تاثیر دارد و با اعمال تابش، جریان افزایش یافته است. همچنین با مقایسه دو شکل مشاهده می‌شود که با افزایش ضخامت لایه از ۹۰ به ۱۴۰ نانومتر، مقدار جریان افزایش یافته است. بعد از ۴۰ ولت نمودار خطی می‌باشد.



شکل ۴: منحنی جریان بر حسب ولتاژ برای لایه با ضخامت ۱۴۰ نانومتر قبل و بعد از تابش در دز ۲۰ گری

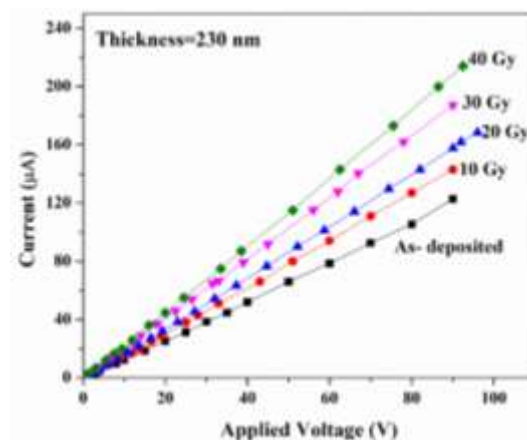
در شکل ۵ منحنی جریان بر حسب ولتاژ برای لایه با ضخامت ۲۳۰ نانومتر قبل و بعد از تابش در دزهای مختلف رسم شده است. باز با مقایسه‌ی منحنی‌ها مشاهده می‌شود که با افزایش دز تابشی از ۱۰ گری تا ۴۰ گری، جریان نمونه‌ها افزایش یافته است. البته در این اینجا هم با افزایش ضخامت جریان افزایش یافته است که دلیل آن را می‌توان به کم شدن مقاومت در اثر افزایش ضخامت دانست. افزایش ضخامت موجب بزرگ شدن اندازه دانه‌ها و خود این باعث افزایش تعداد حامل‌های بار و هم‌چنین کاهش مرز بین دانه‌ای شده و این‌ها منجر به افزایش رسانندگی و در نتیجه کاهش مقاومت می‌شود.

خواص اکسیدهای فلزی به صورت مستقیم یا غیرمستقیم به حضور نقایص و علی‌الخصوص جا خالی‌های اکسیژن^۱ بستگی دارند. جا خالی‌های اکسیژن به طور طبیعی در همه اکسیدها به شکل نقایص شاتکی یا فرنکل حضور دارند و تعداد آنها با روشهای مختلف می‌تواند افزایش یا کاهش یابد. جا خالی‌های اکسیژن به عنوان مراکز رنگی یا مراکز F هم شناخته می‌شوند. این باور وجود دارد که تابش‌های یونیزان باعث بوجود آمدن نقایص ساختاری می‌شوند (اثر هیلنگ)^۲ و با قرار گرفتن در معرض تابش گاما حتی چگالی آنها هم تغییر می‌کند [۹ و ۸].

^۱Oxygen vacancies

^۲Healing Effect

در طی لایه‌نشانی فیلم بعضی از نقص‌های بلوری ذاتی همیشه ایجاد می‌شوند. اندرکنش تابش گاما با فیلم باعث ایجاد نقص شده و در نتیجه در ساختار فیلم تغییر به وجود می‌آید. در دزهای پایین، فیلم دارای ساختار دانه‌ای یکنواخت بدون تخلخل بزرگ بوده و تعداد نقص‌ها بعد از تابش (القاء شده به علاوه ذاتی باقی‌مانده) کمتر از تعداد نقص‌های ذاتی اولیه به علت بازترکیب آنها است. بازترکیب نقص‌ها مقاومت فیلم را کاهش داده و باعث افزایش جریان می‌شود. با افزایش دُز تا حد معین بسته به ضخامت فیلم مقاومت کاهش یافته و جریان افزایش می‌یابد [۱۰ و ۱۱].



شکل ۵: منحنی جریان بر حسب ولتاژ برای لایه با ضخامت ۲۳۰ نانومتر قبل و بعد از تابش در دزهای مختلف

نتیجه گیری:

پیشرفت‌ها در تهیه اکسیدهای فلزی بطور قابل ملاحظه‌ای به توسعه آشکار سازهای جدید و با صرفه کمک می‌کنند. یکی از این اکسیدهای فلزی، TeO_2 می‌باشد که به طور موفقیت آمیز در این کار تهیه گردید و تحت تابش اشعه گاما قرار گرفت. نتایج XRD نشان داد که لایه‌ها قبل از تابش ساختاری بی‌شکل دارند ولی بعد از تابش و قرار گرفتن ساختاری تقریباً بلوری پیدا می‌کنند. تصویر EDAX نشان داد که لایه‌ی TeO_2 از عناصر Te و O بدون وجود ناخالصی‌های دیگر تشکیل یافته است. با مقایسه‌ی منحنی‌های جریان بر حسب ولتاژ مشاهده می‌شود که افزایش ضخامت لایه‌ها و افزایش دُز جریان نمونه‌ها را افزایش می‌دهد که این اساس دزیمتری برای تابش گاما با لایه‌های نازک اکسیدی می‌باشد.



مراجع:

- [1] N. Uchida, Y. Ohmachi, *J. Appl. Phys.* **40** (1969) 4692–4695.
- [2] T. Siciliano, et al.; “Ammonia sensitivity of rf sputtered tellurium oxide thin film”, *Sensors and Actuators B* **138** (2009) 550–555.
- [3] T. Siciliano, et al.; “Effect of thermal annealing time on optical and structural properties of TeO₂ thin films”, *Vacuum* **84**, (2010) 935–939.
- [4] Khalil Arshak, Olga Korostynska and Farah Fahim; “Various Structures Based on Nickel Oxide Thick Films as Gamma Radiation Sensors”; *Sensors* **3** (2003) 176-186.
- [5] Khalil Arshak, Olga Korostynska; “Gamma Radiation Dosimetry Using Tellurium Dioxide Thin Film Structures”; *Sensors* **2** (2002) 347-355.
- [6] K. Arshak, O. Korostynska, J. Molloy, J. Harris; “Optical radiation sensing properties of MnO/TeO₂ thin films”; *IEEE Sensors J.* **6** (2006) 656-660.
- [7] T.K. Maity, et al.; “The real-time gamma radiation dosimetry with TeO₂ thin films”, *Radiation Measurements* **47** (2012) 145-148.
- [8] Khalil Arshak, Olga Korostynska, Response of metal oxide thin film structures to radiation, *Materials Science and Engineering B* **133** (2006) 1–7.
- [9] G. Pacchioni, “Ab Initio Theory of Point Defects in Oxide Materials: Structure, Properties, Chemical Reactivity,” *Solid State Sciences* **2** (2000) 161–179.
- [10] T.K. Maity and S.L. Sharma, “Effects of gamma irradiation on optical and electrical properties of tellurium dioxide thin films”, *Bull. Mater. Sci.* **31** (2008) 841-846.
- [11] K.M. Abhirami, R. Sathyamoorthy, K. Asokan, “Structural, optical and electrical properties of gamma irradiated SnO thin films”, *Radiation Physics and Chemistry* **91** (2013) 35–39.