



فصلنامه علمی ((دفاع هوافضایی))

سال ۲، شماره ۳، آذر ۱۴۰۲

عنوان مقالات

مقاله پژوهشی

سنتر نانوساختارهای اکسید روی با ناخالصی آهن به روش سل-ژل و بررسی خواص آن مجید امیرزاده^۱، حمیدشریفی^۲

۱- دانشجوی دکتری فیزیک، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران.

۲- مدرس دانشگاههای آجا، تهران، ایران.

چکیده

در این مقاله تأثیر تزریق ناخالصی بر روی خواص ساختاری، نوری و مغناطیسی نانوساختارهای اکسید روی تهیه شده به روش سل-ژل بررسی شد. جهت تحلیل نمونه‌ها از طیف‌سنج فرابنفش، پراش‌سنج پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترونی روبشی و مغناطیس‌سنج با نمونه ارتعاشی استفاده شد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که افزودن ناخالصی سبب جابه‌جایی قله جذب و کاهش گاف انرژی شده است. از الگوهای پراش‌سنج پرتو ایکس مشخص شد که همه نمونه‌ها در ساختار ورتسایت شکل گرفته‌اند و هیچ قله اضافی در الگو دیده نمی‌شود که نشانگر تشکیل کامل فاز بدون ایجاد هیچ‌گونه فاز ثانویه است. عدم مشاهده قله اضافی حاکی از حلالیت بالای آهن در اکسید روی می‌باشد و نتایج نشان می‌دهد که افزودن ناخالصی سبب افزایش اندازه نانوبلورها شده در حالی که افزایش درصد ناخالصی تأثیری در اندازه نانوبلورها نداشته است. همچنین ناخالصی آهن سبب ایجاد خاصیت فرومغناطیس در نمونه‌ها شده است به طوری که با افزایش میزان ناخالصی میدان وادارندگی کاهش می‌یابد.

اطلاعات مقاله

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۰

کلمات کلیدی:

اکسید روی، نانوساختار، ریخت‌شناسی، خواص ساختاری، خواص مغناطیسی، خواص نوری.



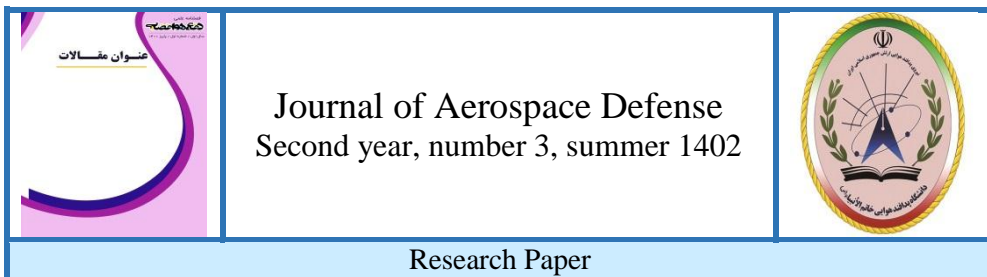
نویسنده مسئول:

مجید امیرزاده

ایمیل: ajidaz23@yahoo.com

استناد به مقاله: مجید امیرزاده، سنتر نانوساختارهای اکسید روی با ناخالصی آهن به روش سل-ژل و بررسی

خواص آن، مجله علمی پژوهشی دفاع هوافضایی دوره ۲، شماره ۳، آذر ۱۴۰۲.



Synthesis of Zinc oxide nanostructures with iron impurities by sol-gel method and investigation of its properties

Majid Amirzadeh¹ Hamid Sharifi²

1- Ph.D. in Physics, Department of Physics, Basic Science, Emam Ali University, Tehran, Iran

2- Lecturer at Aja University, Tehran, Iran.

Article Information

Accepted: 1402/06/20

Received: 1401/11/20

Keywords:

ZnO; Nanostructure; Morphology; Structural properties; Magnetic properties; Optical properties.



Corresponding author:

Majid Amirzadeh

Email:

majidaz23@yahoo.com

Abstract

In this paper, the effect of impurity injection on the structural, optical and magnetic properties of ZnO nanostructures prepared by sol-gel method was investigated. The Ultraviolet spectroscopy (UV-Vis), X-ray diffractometer (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and vibrometer magnetometer (VSM) were used to analyze the samples. The experimental results showed that the addition of impurities caused the displacement of the adsorption peak and the reduction of the band gap. From the XRD spectrum, it appears that all specimens are formed in the Versatite structure. No additional peaks are seen in the spectrum, indicating complete phase formation without creating any secondary phases. The absence of additional peaks indicates the high solubility of iron in oxidation, and the results show that the addition of impurities increased the size of the nanocrystals, while the increase in the percentage of impurities did not affect the size of the nanocrystals. Also, iron impurity has caused ferromagnetic properties in the samples so that with increasing the amount of impurity, the induction field decreases. Ultraviolet spectroscopy (UV-Vis), scanning electron microscopy (SEM) and vibrometer magnetometer (VSM) were used to analyze the samples.

HOW TO CITE: Majid Amirzadeh Hamid Sharifi, Synthesis of Zinc oxide nanostructures with iron impurities by sol-gel method and investigation of its properties, Journal of Aerospace Defense, Vol. 2, No 3.1402

۱. مقدمه

ساخت ذرات با ابعاد نانو به علت این که رفتار سطوح بر رفتار توده‌ای ماده غالب می‌شود، بسیار حائز اهمیت است [۱]. ZnO یک ماده نیم‌رسانا مرکب از گروه‌های II-VI است که گاف نواری پهن (eV) $3/4$ و ساختار هگزاگونال است [۲-۴]. اکسید روی در بیشتر مواقع یک نیم‌رسانای نوع n است، البته رسانندگی نوع p نیز برای شرایط ویژه‌ی ساخت گزارش شده است [۵]. اکسید روی تقریباً قلیایی است و به سختی در آب حل می‌شود [۶]، اما در بیشتر اسیدها و بازها حل می‌شود که این خصوصیت امکان ساخت ابزاری با اندازه کوچک را به ما می‌دهد [۷].

شفافیت در برابر نور و پایداری در برابر تابش‌دهی پراثری از دیگر ویژگی‌های اکسید روی است که آن را مناسب برای کاربردهای فضایی می‌سازد [۷]. گاهی لایه‌های نازک شفاف اکسید روی آلاینده یا غیرآلاینده نیز به عنوان پوشش شفاف و ضدبازتاب در ساخت سلول‌های خورشیدی، حسگر گازی و نیز به عنوان کنش‌یار به کار می‌رود، اکسید روی هم‌چنین به عنوان دیود نورگسیل فرابنفش و دیود لیزری به کار می‌رود [۸-۱۲].

گاهی این نیم‌رساناها با حضور عناصر دیگر (به عنوان ناخالصی) برای بهینه‌سازی خواص ماده ساخته می‌شود که این ناخالصی‌ها بر روی ساختار اکسید روی، تأثیرهای متفاوتی دارند. مانند سنتز نانوساختارهای اکسید روی به همراه ناخالصی‌های S, Fe, Mn, Cu, Ag, Au, Ni و Co که جهت بهبود خواص ساختاری، نوری، الکتریکی، مغناطیسی و عملکرد کنش‌یاری نوری مواد مختلف استفاده شده است [۱۳-۱۹]. بنابراین در این پژوهش تغییرات خواص ساختاری نانوساختار اکسید روی در حضور ناخالصی آهن مورد بررسی قرار می‌گیرد. زیرا همان‌طور که می‌دانیم تغییرات ایجاد شده در خواص و ساختار ذرات آن‌ها را برای کاربردهای بهتری میسر می‌سازد.

۲. روش آزمایشگاهی

نانوساختارهای اکسید روی به روش سل-ژل تهیه شده‌اند. برای ساخت نانوساختارهای اکسید روی از مواد اولیه زیر استفاده شد: نیترات روی شش آبه ($Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$)، پودری سفیدرنگ با جرم مولی $297/49 \text{ gr/mol}$ و پایدارکننده پلی وینیل پیرولیدون ($(C_6H_9OH)_n$)^۱ (PVP)، پودری سفیدرنگ با جرم مولی $2500-250000$. برای تولید نانوساختارهای اکسید روی، نسبت نمک‌های روی و پایدارکننده با نسبت ۱۰ به ۱ با هم مخلوط شد. نمک نیترات روی در اتانول و پایدارکننده هم در آب حل شدند که نسبت‌های وزنی در جدول ۱ آورده شده است. به منظور بررسی اثر ناخالصی نانوساختارهای اکسید روی با ناخالصی آهن نیز به روش سل-ژل تهیه شد. روش تهیه آن همانند تهیه نانوساختارهای اکسید روی خالص می‌باشد.

¹ Polyvinylpyrrolidone

جدول ۱- جرم پودرهای اولیه برای تهیه نانوساختار اکسید روی خالص

مواد اولیه	جرم پودر $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	جرم پودر پایدار کننده PVP
مقدار	۲ گرم	۰٫۲ گرم

برای ساخت نانوساختارهای $Zn_{1-x}Fe_xO$ از نمک نیترات آهن نه آبه ($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$) که پودری زردرنگ با جرم مولی 403.99 g/mol استفاده شد. (جدول ۲)

جدول ۲- جرم پودرهای اولیه موردنیاز برای تهیه $Zn_{1-x}Fe_xO$

جرم پودر PVP (گرم)	جرم پودر نمک روی (گرم)	جرم پودر نمک آهن (گرم)	میزان آلایش (x)
۰٫۲	۲	۰٫۰۴۹	۰٫۰۳
۰٫۲	۲	۰٫۰۸۳۴	۰٫۰۵
۰٫۲	۲	۰٫۱۲۸	۰٫۰۷۵
۰٫۲	۲	۰٫۲	۰٫۱۰

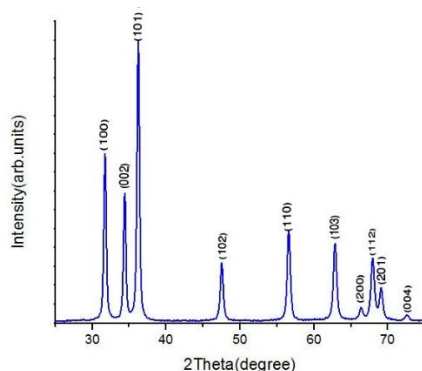
پس از وزن کردن مواد اولیه، نمک روی در متانول حل شد و سپس محلول توسط گرم کن، گرم شد. پایدارکننده PVP را در آب حل کرده و به آرامی به محلول اولیه اضافه می‌گردد. دمای محلول در ۶۰ درجه سانتی‌گراد پایدار شد تا حلال به آرامی تبخیر شود. سپس ژل در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و ژل خشک شده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد درون کوره قرار داده شد. ژل درون کوره به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. ماده درون کوره ماند تا به آرامی سرد شود. هنگام آماده‌سازی محلول برای تهیه ژل پس از اضافه کردن PVP، نمک آهن با درصدی مختلف به محلول اولیه اضافه شد و روند کار مشابه ساخت نانوساختار اکسید روی خالص تکرار شد. در این مقاله به تحلیل و مشخصه‌یابی نمونه‌های اکسید روی ناخالص مورد بررسی قرار گرفت. خواص ساختاری نمونه‌های به دست آمده توسط الگوی پراش پرتو ایکس (XRD)^۱، میکروسکوپ الکترونی

¹ X-Ray Diffractometer

روشنی (SEM)^۱ و الگوی جذبی (UV-Visible)^۲ بررسی شده است. همچنین خواص مغناطیسی توسط مغناطیس سنج با نمونه ارتعاشی (VSM)^۳ بررسی شده است.

۳. بحث و نتیجه گیری

برای تعیین ساختار بلوری نمونه‌ها و محاسبه ثابت‌های شبکه از الگوی پراش پرتو ایکس استفاده کردیم. از پراش پرتوهای $\text{CuK}\alpha$ با طول موج ۱۵/۴ نانومتر بدین منظور استفاده شد. نمودار XRD مربوط به اکسید روی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمودار الگوی پراش پرتو ایکس نمونه اکسید روی خالص

مقایسه الگوی XRD با کارهای دیگران و کارت‌های استاندارد JCPDS No. 79-0205 نشان می‌دهد که نانوساختارهای اکسید روی به دست آمده در ساختار ورتسایت متبلور شده‌اند [۲۰]. عدم وجود هرگونه قله اضافی نمایانگر این است که نانوساختارهای اکسید روی بلوری می‌باشد و بدون هیچ‌گونه ناخالصی شکل گرفته‌اند. همچنین پهن بودن قله‌ها به دلیل تشکیل ذرات در مقیاس نانو می‌باشد. اندازه متوسط دانه‌ها را می‌توان با استفاده از رابطه شرر محاسبه کرد؛

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

که در آن D ، β ، λ و θ به ترتیب اندازه متوسط ذرات، طول موج پرتو ایکس اعمال شده، پهنای نصف قله و زاویه براگ می‌باشد. اندازه نانوبلورها با میانگین‌گیری از همه مقادیر اندازه ذرات از تمامی قله‌های پراش پرتو ایکس به دست آمده است که مقدار ۲۳/۴۵ نانومتر می‌باشد. مقادیر ثابت شبکه برای a و c به ترتیب ۳/۲۵ و ۵/۲۱ به دست آمده است. پارامترهای شبکه یک بلور شش گوشه از رابطه زیر پیروی می‌کنند [۲۱]:

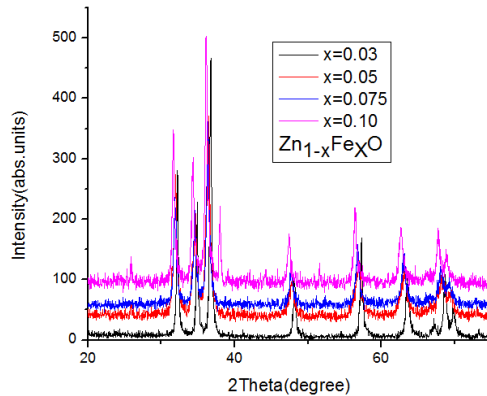
¹ Scanning Electron Microscopy

² Ultraviolet Spectroscopy

³ Vibrometer Magnetometer

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (2)$$

که a و c پارامترهای شبکه، h و k و l اندیس‌های میلر صفحات پراش و فاصله بین صفحه‌های برای صفحات (hkl) می‌باشد. شکل ۲ الگوی XRD ی مربوط به نمونه‌های آلاینده با درصد‌های مختلف از عناصر فلز واسطه‌ی آهن را نشان می‌دهد.



شکل ۲ - نمودار پراش پرتو ایکس نمونه‌ها با آلیش Fe.

همان‌طور که از الگوی XRD پیداست، همهٔ نمونه‌ها در ساختار ورتسایت^۱ شکل گرفته‌اند. هیچ قله اضافی در الگو دیده نمی‌شود که نشانگر تشکیل کامل فاز بدون ایجاد هیچ‌گونه فاز ثانویه است. عدم مشاهده قله اضافی نشان از حلالیت بالای آهن در اکسید روی می‌باشد. در ادامه اندازه نانوبلورها و ثابت شبکه را به دست آورده و همچنین تنش باقیمانده بر اثر ناخالصی آهن را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

اندازه متوسط نانوبلورها با استفاده رابطه دیبای-شرر محاسبه شد. نتایج به دست آمده برای نمونه‌های آلاینده با درصد‌های مختلف در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳ - اندازه متوسط نانوساختاری نمونه‌های تهیه شده با آلیش آهن.

میزان آلیش (x)	میانگین اندازه نانوبلورها (nm)
۰٫۰۰	۲۳٫۴۵
۰٫۰۳	۳۲٫۸

¹ Versatite Structure

۳۲٫۸	۰٫۰۵
۳۲٫۸	۰٫۰۷۵
۳۲٫۸	۰٫۱۰

همان طور که از نتایج اندازه ذرات داریم، با افزودن ناخالصی اندازه نانوبلورها افزایش یافته ولی با افزایش میزان آلاینش، تغییری در اندازه نانوبلورها مشاهده نمی‌شود که مطابقت خوبی با نتایج مربوط به تحلیل الگوی جذبی و یکسان بودن مقدار قله جذب برای درصدهای مختلف ناخالصی دارد. در جدول ۴ مقادیر ثابت شبکه برای نمک‌های آلاییده با آهن با درصدهای مختلف آورده شده است که مشاهده می‌گردد مقادیر ثابت شبکه تغییرات جزئی نسبت به نمونه‌ی خالص را دارند.

جدول ۴ - مقادیر ثابت شبکه برای نمونه‌های آلاییده با آهن.

میزان آلاینش (x)	c (Å)	a (Å)
۰٫۰۰	۵٫۲۱	۳٫۲۵
۰٫۰۳	۵٫۱۵	۳٫۲۱
۰٫۰۵	۵٫۱۷	۳٫۳۲
۰٫۰۷۵	۵٫۱۹	۳٫۲۵
۰٫۱۰	۵٫۲۲	۳٫۲۶

طیف‌سنجی جذب نوری در ناحیه فرابنفش - مرئی یکی از روش‌های متداول برای بررسی خواص نوری مواد است. این طیف‌سنجی در گستره ۳۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر صورت می‌گیرد، خواص نوری نانوساختارهای اکسید روی با استفاده از الگوی جذبی UV-Vis بررسی شد.

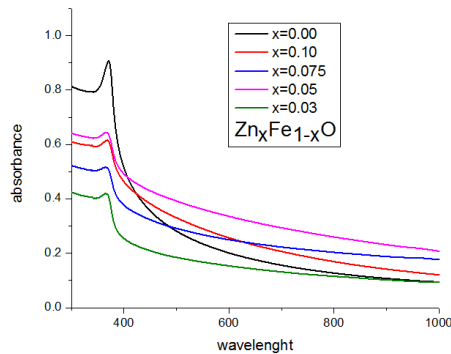
از الگوی به‌دست آمده کاملاً آشکار است که نمونه‌ها در ناحیه ۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر کاملاً شفاف هستند. بین طول موج بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر، جذب دو نمونه با کاهش طول موج به‌طرز چشمگیری افزایش یافته است، که حاکی از جذب ذاتی ناشی از گذارهای مستقیم الکترون‌ها است و بنابراین دو نمونه متعلق به نیم‌رساناهایی با گاف نواری مستقیم هستند [۲۲]. قله قابل مشاهده در همه الگوها مربوط به جذب اکسیتون می‌باشد. قله جذب اکسیتون برای نمونه‌های آماده شده در طول موج ۳۷۱ نانومتر اتفاق می‌افتد. ضریب جذب α از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{1}{x}\right) \quad (3)$$

که در آن d ضخامت سلول و x میزان عبور می‌باشد و از طرفی گاف انرژی با ضریب جذب با رابطه زیر باهم مرتبط می‌شوند [۲۳]:

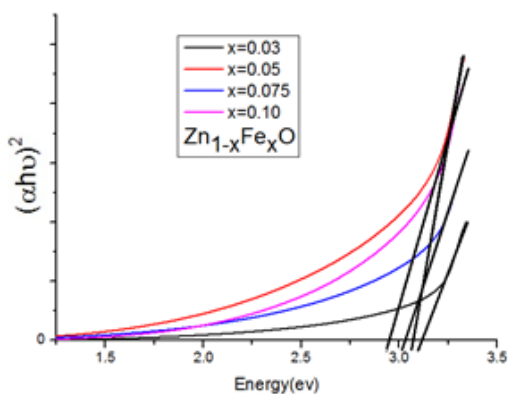
$$\alpha = A(h\nu - E_g)^n \quad (4)$$

که E_g گاف انرژی و A یک مقدار ثابت است. n برای نیم‌رساناهایی با گاف نواری مستقیم و غیرمستقیم به ترتیب ۰/۵ و ۲ می‌باشد. که عمدتاً اکسید روی دارای گذار مستقیم می‌باشد. از رسم نمودار $(\alpha h\nu)^2$ برحسب $h\nu$ و برون‌یابی قسمت خطی نمودار می‌توان مقدار گاف انرژی را از محل برخورد با محور $h\nu$ به دست آورد. مقدار E_g نمونه‌های ساخته شده خالص مقدار ۳/۱۳ eV می‌باشد. به منظور بررسی اثر آلایش بر روی خواص نوری نانوساختارهای اکسید روی، الگوی جذبی از نمونه‌ها گرفته شد (شکل ۳).



شکل ۳ - الگوی جذبی نمونه‌های آلاییده شده با آهن.

از مقادیر قله جذب که برای درصدهای مختلف ناخالصی یک مقدار می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که میزان درصد ناخالصی تأثیری در اندازه ذرات نداشته است، زیرا که قله تمامی ذرات یکسان می‌باشد. برای بررسی گاف انرژی نمودارهای $(\alpha h\nu)^2$ برحسب $h\nu$ نمونه‌های ساخته شده با درصدهای ناخالصی مختلف رسم شد (شکل ۴).



شکل ۴ - نمودار $(\alpha hu)^2$ برحسب hu برای نمونه‌های آلیبده شده.

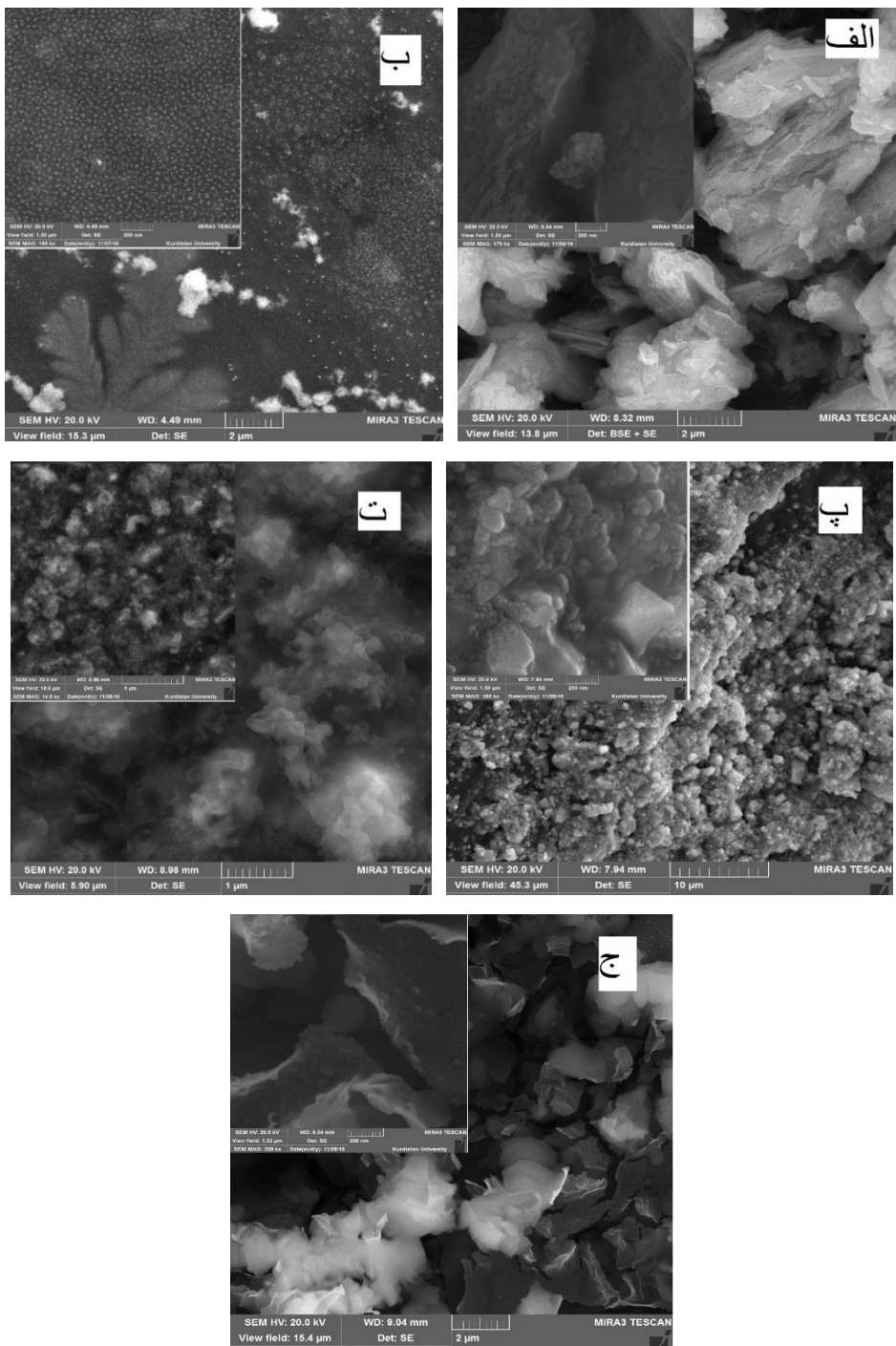
همان‌طور که از شکل پیداست، با افزایش میزان آلیش آهن، نظم خاصی در تغییرات گاف انرژی دیده می‌شود که یک روند کاهشی را برای مقادیر گاف انرژی مشاهده می‌کنیم (جدول ۵).

جدول ۵ - مقادیر گاف انرژی برای نمونه‌های آلیبده

۰٫۱۰	۰٫۰۷۵	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۰	میزان آلیش (x)
۲٫۹۵	۳٫۰۲	۳٫۰۶	۳٫۱۱	۳٫۱۳	گاف انرژی (eV)

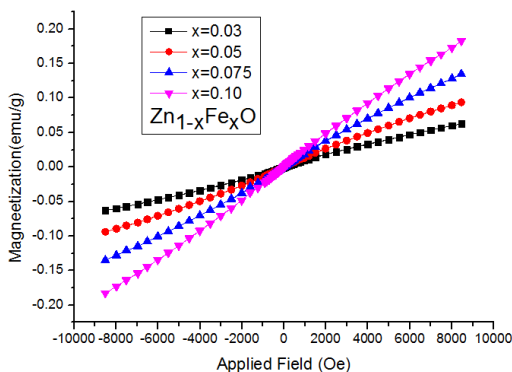
در بعضی از مقالات با افزایش میزان آلیش آهن، افزایش گاف انرژی گزارش شده است [۲۴ و ۲۵] و اما در مقالات دیگری نیز وجود دارد که با افزایش میزان آلیش، کاهش در گاف انرژی را گزارش داده‌اند [۲۵ و ۲۶]. ریخت شناسی، مکان‌نگاری سطح و مشخصات ساختاری نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)^۱ انجام شد.

¹ Scanning Electron Microscopy



شکل ۵ - تصاویر SEM (الف) نمونه خالص (ب) با ۰٫۳٪ ناخالصی، (پ) با ۰٫۵٪ ناخالصی، (ت) با ۰٫۷۵٪ ناخالصی و (ج) با ۰٫۱۰٪ ناخالصی

شکل ۵ تصاویر SEM نمونه‌ها را در ناخالصی‌های مختلف نشان می‌دهند. در واقع، همان‌طور که از تصاویر SEM مشخص است، ناخالصی تأثیر بسزایی بر روی ریخت شناسی نمونه‌های تهیه شده دارد. خواص مغناطیسی نانوساختارهای اکسید روی آلیپیده با آهن از طریق مطالعه الگوی مغناطش برحسب میدان در دمای اتاق بررسی شد. بدین منظور از دستگاه VSM برای بررسی منحنی مغناطش برحسب میدان در دمای پایین استفاده شد.



شکل ۶ - منحنی M-H در دمای اتاق نمونه‌های $Zn_{1-x}Fe_xO$

همان‌طور که در شکل ۶ پیداست، همه نمونه‌ها حلقه وادارندگی دارند که نشان‌دهنده خاصیت فرومغناطیس است.

جدول ۶ - مقادیر H_c نمونه‌های آلیپیده اکسید روی.

H_c	میزان آلیش
۴۴	۰٫۰۳
۳۷	۰٫۰۵
۳۶٫۳	۰٫۰۷۵
۲۳٫۵	۰٫۱۰

نمودارهای H_c - X_{Fe} نمونه‌های $Zn_{1-x}Fe_xO$ در شکل ۶ آورده شده است. همان‌طور که می‌دانیم میدان مغناطیس‌زدا را با H_c نشان می‌دهند و به نیروی ضدپسماند^۱ و یا وادارندگی مغناطیسی معروف است. روند کاهشی که در مقدار H_c مشاهده می‌شود (جدول ۶) که نشان‌دهنده این است

¹ Coercive Force

با افزایش ناخالصی ماده از فرومغناطیس به سمت پارامغناطیس سوق پیدا می‌کند. در پژوهش پراشانت ک. شارما^۱ و همکارانش [۲۷] که برای بررسی خواص مغناطیسی ناخالصی آهن در نانوساختارهای اکسید روی انجام شد، روند کاهشی مقدار HC و همچنین کاهش خاصیت فرومغناطیسی با افزایش ناخالصی آهن مشاهده شده است.

۴. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بررسی‌های انجام شده بر روی نمونه‌های نانوساختارهای اکسید روی نتایج زیر را در برداشت:

الف: تحلیل الگوی XRD ی همه نمونه‌های به‌دست آمده در شرایط مختلف نشان می‌دهد که نانوساختارهای اکسید روی با ساختار ورتسایت بدون وجود هیچ‌گونه ناخالصی ساختاری تشکیل شده‌اند. نمونه‌های ساخته شده تا آلیش ۱۰ درصد آهن در ساختار ورتسایت بدون هیچ‌گونه ناخالصی ساختاری شکل گرفته‌اند. افزایش ناخالصی سبب افزایش میزان نانوبلورها شده است ولی میزان آلیش تأثیری در اندازه نانوبلورها نداشته است.

ب: تحلیل SEM گرفته شده از نمونه‌ها نیز نانو بودن ساختار را تایید می‌کند. همچنین نشان داده‌اند که ناخالصی به‌روزی ریخت‌شناسی نانوساختارها تأثیر بسیار زیادی دارد.

پ: الگوی جذبی UV-vis نمونه‌های آلییده نیز یک روند کاهشی در میزان گاف انرژی در اثر افزایش میزان آلیش را نشان می‌دهد، ولی می‌توان بیان داشت که افزایش ناخالصی سبب کاهش گاف انرژی شده است که این به‌علت جای‌گیری یون آهن در جایگاه یون روی است و این‌که اندازه نانوبلورها افزایش داشته است.

ت: از تحلیل VSM هم داریم که افزایش ناخالصی سبب خاصیت فرومغناطیسی در نمونه‌ها شده است و نیز تأثیر ناخالصی باعث کاهش HC شده است.

۵- تشکر و قدردانی

از دفتر پژوهشکده دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیاء^(ص) بابت پیگیری‌ها و هماهنگی‌های لازم جهت برگزاری جلسات خبرگی پژوهش حاضر و نیز کلیه اندیشمندان و پژوهشگرانی که در خلال تحقیق خالصانه دیدگاه‌ها و نقطه نظرات علمی و کارشناسی خود را ارائه نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶- تعارض منافع

نویسنده(گان) اعلام می‌دارند که در مورد انتشار این مقاله تضاد منافع وجود ندارد. علاوه بر این،

¹ Prashant K. Sharma

موضوعات اخلاقی شامل سرقت ادبی، رضایت آگاهانه، سوء رفتار، جعل داده‌ها، انتشار و ارسال مجدد و مکرر توسط نویسندگان رعایت شده است.

۷-دسترسی آزاد

این نشریه دارای دسترسی باز است و اجازه اشتراک (تکثیر و بازآرایی محتوا به هر شکل) و انطباق (بازترکیب، تغییر شکل و بازسازی بر اساس محتوا) را می‌دهد.

۸. منابع

- [1]. R. W. Kelsall, I. W. Hamley, M. Geoghegan; “*Nanoscale Science and Technology*” John Wiley & Sons, Ltd (2005).
- [2]. A. Tumbul, F. Aslan, S. Demirozu, A. Goktas, A. Kilic, M. Durgun, M.Z. Zarbali, “*Solution processed boron doped ZnO thin films: influence of different boron complexes*” Mater. Res. Expr. 6 (3) (2019) 035903.
- [3] F. Aslan, G. Adam, P. Stadler, A. Goktas, I.H. Mutlu, N.S. Sariciftci, “*Sol-gel derived In₂S₃ buffer layers for inverted organic photovoltaic cells*” Sol. Energy 108 (2014) 230–237.
- [4] F. Mikailzade, H. Türkan, F. Önal, M. Zarbali, A. Göktaş, A. Tumbul, “*Structural and magnetic properties of polycrystalline Zn_{1-x}MnxO films synthesized on glass and p-type Si substrates using Sol-Gel technique*” Appl. Phys. A 127 (2021) 408.
- [5]. K. K. Kim, H. S. Kim, D. K. Hwang, J. H. Lim, “*Realization of p-type ZnO Thin Films Via Phosphorus Doping and Thermal*”, Appl. Phys. Lett, 83 (2003) 63-68
- [6]. P. Parker, “*McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology*”, New York (1988)
- [7]. U. Ozgur, Ya. I. Alivov, C. Liu, A. Teke, M. A. Reshchikov, S. Dogan, V. Avrutin, S. J. Cho and H. Morkoç, “*A comprehensive review of ZnO materials and devices*”, J. Appl. Phy, 98 (2005) 041301-041327
- [8] H. Dong, Y. Liu, J. Lu, Z. Chen, J. Wang, L. Zhang, “*Single-crystalline tower-like ZnO microrod UV lasers*”, J. Mater. Chem. C. 1 (1) (2013) 202–206.
- [9] Y.K. Park, H.S. Choi, J.-H. Kim, J.-H. Kim, Y.-B. Hahn, “*High performance field-effect transistors fabricated with laterally grown ZnO nanorods in solution*”, Nanotechnology 22 (22) (2011) 185310.
- [10] G. Khurana, S. Sahoo, S.K. Barik, R.S. Katiyar, “*Improved photovoltaic performance of dye sensitized solar cell using ZnO-graphene nanocomposites*”, J. Alloy. Compd. 578 (578) (2013) 257–260.

- [11] X. Cao, B. Zheng, X. Rui, W. Shi, Q. Yan, H. Zhang, “*Metal oxide-coated threedimensional graphene prepared by the use of metal-organicframeworks as precursors*”, *Angew. Chem.* 126 (2014) 1428–1433.
- [12] M.L. Zhang, F. Jin, M.L. Zheng, J. Liu, Z.S. Zhao, X.M. Duan, “*High efficiency solar cell based on ZnO nanowire array prepared by different growth methods*”, *RSC Adv.* 4 (2014) 10462–10466.
- [13] A. Tiwari, M. Snure, “*Synthesis and characterization of ZnO nano-plant-like electrodes*” *J. Nanosci. Nanotechnol.* 8 (2008) 3981–3987.
- [14] G. Colon, M. Maicu, M.C. Hidalgo, J.A. Navio, “*Cu-doped TiO₂ systems with improved photocatalytic activity*”, *Appl. Catal. B* 67 (2006) 41–51.
- [15] R. Ullah, J. Dutta, “*Photocatalytic degradation of organic dyes with manganese-doped ZnO nanoparticles*”, *J. Hazard. Mater.* 156 (2008) 194–200.
- [16] S. Kuriakose, B. Satpati, S. Mohapatra, “*Facile synthesis of Co doped ZnO nanodisks for highly efficient photocatalytic degradation of methyl orange*”, *Adv. Mater. Lett.* 6 (3) (2015) 217–223.
- [17] L. Zhang, X. Zhu, Z. Wang, S. Yun, T. Guo, J. Zhang, T. Hu, J. Jiang, J. Chen, “*Synthesis of ZnO doped high valence S element and study of photogenerated charges properties*”, *RSC Adv.* 9 (2019) 4422.
- [18] A.V. Trukhanov, N.A. Algarou, Y. Slimani, M.A. Almessiere, A. Baykal, D.I. Tishkevich, D.A. Vinnik, M.G. Vakhitov, D.S. Klygach, M.V. Silibin, T.I. Zubar, S.V. Trukhanov, “*Peculiarities of the microwave properties of hard-soft functional composites SrTb_{0.01}Tm_{0.01}Fe_{11.98}O₁₉-AFe₂O₄ (A=Co, Ni, Zn, Cu and Mn)*”, *RSC Adv.* 10 (2020) 32638.
- [19] M.V. Zdorovets, A.L. Kozlovskiy, “*Study of phase transformations in Co/CoCo₂O₄ nanowires*”, *J. Alloy. Compd.* 815 (2020) 152450.
- [20] M. Salavati-Niasari, “*ZnONanotriangles: Synthesis, Characterization and Optical Properties*”, *J. Alloys Compd* **476** (2008) 908-916
- [21] Parra Palomino, “*Room-temperature synthesis and characterization of highly monodisperse transition metal-doped ZnO nanocrystals*”, *University of Puerto Rico*, (2006)
- [22] K. Vanhensden, C. H. Seagar, W. L. Warren, D. R. Tallant, J. A. Voigt, “*Correlation Between Photoluminescence and Oxygen Vacancies in ZnO Phosphors*”, *Appl. Phys. Lett.* 68 (1996) 403-411
- [23] S. K. Sharma, L. Kumar, S. Kumar, T. P. Sharma, “*Dependence of band gap on deposition parameters in CdSe sintered films*”, *Chalcoseride letters*, 5 (2008) 73-78.

- [24]. S. Suwanboon, P. Amornpitoksuk, A. Haidoux, J. C. Tedenac, “Structural and Optical Properties of Undoped and Aluminium Doped Zinc Oxide Nanoparticles Via Precipitation Method at Low Temperature”, *J. Alloys. Compd.*, 462 (2008) 335-343
- [25]. K. J. Kim, Y. R. Park, “Optical Investigation of Zn_{1-x}Fe_xO Films Grown on Al₂O₃ (0001) by Radio-Frequency Sputtering”, *J. Appl. Phys.*, 96 (2004) 4150-4157
- [26]. Z. Chen, C. Wang, Y. He, L. Li, Dong Zhang, “Structure, Morphology and Properties of Fe-Doped ZnO Films Prepared by Facing-Target Magnetron Sputtering System”, *Appl. Surf. Sci.*, 255 (2009) 6881-6886
- [27]. Prashant K. Sharma, Ranu K. Dutta, Avinash C. Pandey, Samar Layek, H. C. Verma, “Effect of iron doping concentration on magnetic properties of ZnO nanoparticles”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 321 (2009) 2587-2591.