



## ویژگی نوری لایه نازک ساختار پروسکایت دوگانه $\text{BiCr}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$

محمد سعید رجب زاده<sup>۱</sup> و سعید محمد حسین خلخالی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشکده نانو، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، تهران

<sup>۲</sup> گروه حالت جامد، دانشکده فیزیک، دانشگاه خوارزمی، تهران، تهران

**چکیده:** در این پژوهش، لایه‌های نازک ساختار پروسکایت دوگانه  $\text{BiCr}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  (BCCO) با  $x=0, 0.15, 0.3, 0.5$  (به ترتیب  $\text{BCCO}$ ،  $\text{BCO-30Co}$ ،  $\text{BCO-15Co}$ ،  $\text{BCO}$ ) به روش سل-ژل و لایه نشانی چرخشی تهیه شده‌اند. با استفاده از پراش پرتو ایکس تشکیل فاز بلوری لایه‌های نازک مورد بررسی قرار گرفت. از طیف‌سنجی فرابنفش - مرئی برای تعیین گاف نواری این مواد استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش درصد کبالت نمونه‌ها گاف نواری غیرمستقیم در آن‌ها به وجود می‌آید که بسیار کم‌تر از گاف مستقیم آن است و موجب افزایش جذب می‌شود. نتایج تجربی به دست آمده با پژوهش نظری که بر ویژگی نوری این ماده انجام شد مطابقت دارد.

**واژگان کلیدی:** پروسکایت دوگانه، خواص نوری، پروسکایت اکسیدی، فروالکترونیک، فتوولتائیک، سل-ژل.

\*[m\\_khalkhali@khu.ac.ir](mailto:m_khalkhali@khu.ac.ir)

ساختار پروسکایتی یک ترکیب با فرمول شیمیایی  $\text{ABX}_3$  که در حالت ایده آل دارای سلول واحد مکعبی با پارامتر شبکه در حدود ۴ آنگستروم است. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، اتم A یک کاتیون فلزی بزرگ (بزرگتر از B) که در گوشه‌های مکعب در موقعیت (۰, ۰, ۰) و با عدد هم‌آرایی ۱۲ با آنیون X است. اتم B یک کاتیون فلزی کوچک (کوچکتر از A) است که در مرکز مکعب در موقعیت (۱/۲, ۱/۲, ۱/۲) و با عدد هم‌آرایی ۸ با آنیون X است. X اتم اکسیژن و یا هالوژن‌ها هستند که در مرکز وجه‌ها در موقعیت (۰, ۱/۲, ۱/۲) قرار دارند و هر یک از این اتم‌ها با دو کاتیون در موقعیت B و چهار کاتیون در موقعیت A احاطه شده‌اند. اگر اتم X، اکسیژن باشد، به آن ساختار پروسکایت اکسیدی گویند. [۲-۳]

### ۱- مقدمه

مواد پروسکایت و پروسکایت دوگانه کانی‌هایی هستند که دارای ساختار و ویژگی منحصر به فرد مغناطیسی، الکتریکی، نوری و کاتالیستی هستند. صدها ماده با ساختار پروسکایت دوگانه اکسیدی شناخته شده است که رنج وسیع از ویژگی متفاوت فلزی، نیمه فلزی (مغناطومقاومت) و نیمه رسانا از خود نشان می‌دهند. این ساختارها خاصیت مغناطیسی متنوعی مانند فرومغناطیس، آنتی فرومغناطیس، فری مغناطیس و... دارند. همچنین، پروسکایت‌های اکسیدی بدلیل ساختار ویژه‌شان گاهی از خود خاصیت فرو الکتریکی و یا مولتی فروئیک نیز بروز می‌دهند. [۱] به واسطه تنوع ویژگی که این دسته از ساختارها دارند، مطالعه این ساختارها با عناصر متفاوت و جانشانی با عناصر جایگزین به شدت مورد توجه دانشمندان قرار دارد.

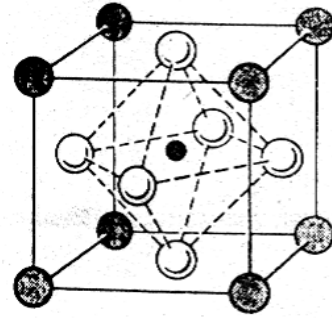
می‌کنند که بیشتر ناشی از گاف نواری بالای (بیش از ۲/۵ الکترون ولت) آنهاست. تلاش‌های زیادی برای رفع این چالش انجام شده است. از جمله استفاده از روش‌های مهندسی گاف نواری، دستکاری مرزخانه‌های ساختار، ساخت سلول‌های چند لایه و... اما متأسفانه بازده تبدیل نیرو دستگاه‌های FPV کمی بیش از ۱ درصد گزارش شده است. [۷] در همین راستا، کار اخیر Kim و همکارانش بسیار قابل توجه است که با بررسی و شبیه‌سازی ساختار پروسکایت دوگانه  $\text{Bi}_2\text{FeCrO}_6$  توسط نظریه تابعی چگالی (DFT) که پیش از آن سلول‌های فوتولتائیک چند لایه مبتنی بر این ماده بازده ۱/۸ درصد هم به دست آمده، پنج ماده جدید پروسکایت دوگانه اکسیدی برپایه بیسموت (با تغییر نوع فلزات واسطه در جایگاه B) پیشنهاد داده‌اند و حدس زده شده که ویژگی اپتوالکترونیکی بهتر، جذب نور بیشتر و گاف نواری کمتری نسبت به  $\text{Bi}_2\text{FeCrO}_6$  و مواد پروسکایت مانند  $\text{BiCrO}_3$  و  $\text{BiFeO}_3$  از خود نشان می‌دهند. [۸] بر این اساس بررسی تجربی این پنج ساختار پیشنهادی می‌تواند به پیدا کردن ساختار پروسکایت دوگانه با بازده فوتولتائیکی بهتر بیانجامد. در این پژوهش، یکی از مواد پیشنهادی در کار فوق مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، برای کاربردهای فوتولتائیک این مواد، نیاز به تولید لایه نازک این مواد داریم.

بنابراین، ماده پیشنهادی  $\text{Bi}_2\text{CrCoO}_6$  که دارای ویژگی نوری بهتری مطابق با کار آقای Kim و همکارانش دارد مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ماده پروسکایت  $\text{BiCr}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  با متغیر x از 0.15 تا 0.5 که مقدار 0.5 ماده پروسکایت دوگانه پیشنهادی است به روش شیمیایی سل-ژل سنتز شده و بعد از لایه نشانی و ویژگی نوری آن بررسی شد و همچنین، تاثیر تغییر در درصد فلزات واسطه کبالت و کروم مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۱- بخش تجربی:

### ۱-۱- مواد شیمیایی مورد استفاده:

مواد شیمیایی مورد استفاده برای ساخت محلول‌ها عبارتند از نمک‌های فلزی بیسموت نیترات ۵ آبه  $(\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$  با خلوص ۹۸٪، کروم نیترات ۹ آبه  $(\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O})$  ۹۹٪، کبالت نیترات ۶ آبه  $(\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$  با خلوص ۹۹٪ از

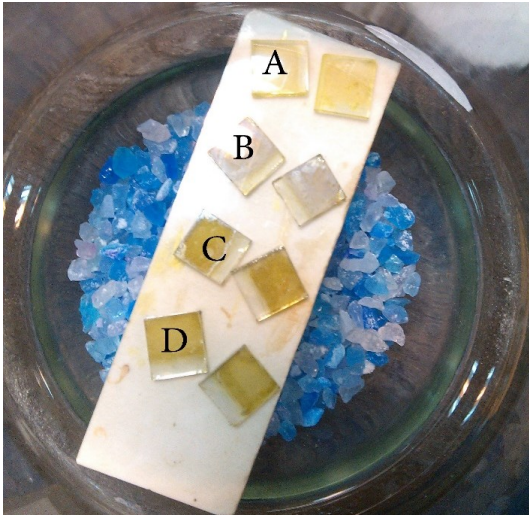


شکل ۱: ساختار پروسکایت: کره مشکی بزرگ: کاتیون A، کره سفید بزرگ: کاتیون B، کره مشکی کوچک: آنیون X.

مواد پروسکایت دوگانه بطور کلی دارای فرمول  $A'A''B'B''O_6$  هستند که بسته به نوع ترکیب عناصر در هر کدام از جایگاه‌های  $A'$  و  $A''$  یا  $B'$  و  $B''$  یک یا دو نوع عنصر قرار می‌گیرد. اگر در جایگاه‌های  $A'$  و  $A''$  یک نوع عنصر قرار گیرد به آن ماده پروسکایت دوگانه B-site و اگر در جایگاه  $B'$  و  $B''$  یک نوع عنصر قرار گیرد به آن ماده پروسکایت دوگانه A-site می‌گویند. معمولاً کاتیون‌های فلزی عناصر خاکی کمیاب، قلیایی و قلیایی خاکی در جایگاه  $A'$  و  $A''$ ، همچنین، کاتیون فلزات واسطه در جایگاه  $B'$  و  $B''$  قرار می‌گیرند. بنابراین، حداقل ۹۳ درصد عناصر جدول تناوبی می‌توانند موقعیت کاتیون A و حدود نیمی از جدول تناوبی موقعیت کاتیون B را اشغال کنند و این انعطاف‌پذیری شیمیایی بالا باعث تنوع کاربرد این خانواده از ترکیبات بسته به انتخاب اتم‌های جایگاه‌های A و B شده است. همچنین، این ترکیبات با داشتن ویژگی مثل مقاومت مغناطیسی بزرگ (GMR)، ابررسانایی دمای بالا و نیم‌رسانا بودن کاربردهای متنوعی در زمینه‌های متفاوت از جمله طراحی و فناوری حافظه-ها، حسگرهای مغناطیسی، خازن‌ها و سلول‌های خورشیدی پیدا کرده‌اند. [۴-۵]

به واسطه خاصیت فوتولتائیکی و فروالکتریکی همزمان در این مواد، ولتاژهای فوتونی غیرعادی و بالا به همراه جریان فوتونی برگشت پذیر و قابل تنظیم در آنها مشاهده شده است. به همین علت، امکان به کارگیری آنها در انواع دستگاه‌های تبدیل نور به الکتریسیته (فوتولتائیک و اپتوالکترونیک) مانند سلول‌های خورشیدی، ترانزیستورها و دیودهای نوری مورد توجه قرار گرفته‌اند [۶]. با این وجود ساختارهای پروسکایت اکسیدی در سیستم‌های فروالکتریک فوتولتائیک (FPV) جریان فوتونی کمی (در حد میکروآمپر در هر سانتی متر مربع تحت نور خورشید) تولید

مراحل لایه نشانی و خشک کردن سه مرتبه تکرار شده است تا ضخامت مناسب برای انجام آنالیزها به دست آید. سپس لایه ها درون کوره و در دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد بازپخت می‌شوند. در شکل ۲ لایه های ساخته شده نشان داده شده‌اند.

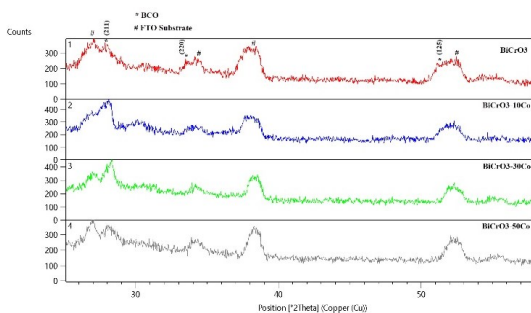


شکل ۲: لایه های  $\text{BiCr}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  ( $x=0,0.15,0.3,0.5$ ): A.  $x=0$ , B.  $x=0.15$ , C.  $x=0.3$ , D.  $x=0.5$

## ۲- نتایج و بحث:

### ۲-۱- آنالیز پراش پرتو ایکس:

الگوی پراش پرتو ایکس، چهار نمونه با نسبت های متفاوت کبالت به کروم لایه‌های  $\text{BiCr}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  ( $x=0,0.15,0.3,0.5$ ) روی زیرلایه FTO، توسط دستگاه پراش پرتو ایکس Xpert PRO MPD 2009 شرکت PANalytical مورد بررسی قرار گرفت و همچنین، برای تجزیه و بررسی تحلیل داده‌های پراش پرتوی ایکس این طیف‌ها از نرم افزار HighScore Plus Xpert استفاده شد.



نمودار ۱: الگوی پراش پرتوی ایکس لایه های نازک  $\text{BiCr}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  ( $x=0,0.15,0.3,0.5$ )

شرکت سیگما، حلال اتیلن گلیکول ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ ) با خلوص ۹۹٪ و کاتالیست استیک اسید ( $\text{COOH}_3\text{CH}$ ) با خلوص ۱۰۰٪ از شرکت مرک هستند. همچنین زیرلایه FTO تهیه شده برای لایه‌نشانی از شرکت توسعه فناوری شریف‌سولار تهیه‌شده که دارای ضخامت ۳/۳ میلی‌متر و مقاومت سطحی ۱۵ اهم بر متر مربع است.

### ۲-۱- سنتز نمونه ها:

۴ محلول  $\text{BiCr}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  (BCCO) با  $X=0, 0.15, 0.3, 0.5$  (به ترتیب BCCO, BCO-30Co, BCO-15Co, BCO) به روش سل-ژل آماده شد. ابتدا، با توجه به حجم مورد نیاز محلول به نسبت ۱ به ۴ حلال (اتیلن گلیکول) و کاتالیست (استیک اسید) را در بشر ریخته و تحت استیرر قرار داده می‌شود. سپس، با استفاده از کسر مولی هر محلول، پیش ماده ها را وزن و به محلول افزوده می‌شود تا سل با غلظت ۳/۰ مولاریته تولید شده و پس از افزودن هر پیش ماده اندکی زمان داده تا نمک فلزی مورد نظر به خوبی در حلال حل شود. به محلول ها ۵٪ بیسموت افزوده می‌شود تا بیسموت از دست رفته در طول فرایند دما دهی جبران شود. [۹-۱۱] محلول ها را تحت استیرر و دمای ۸۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته تا حجم آنها تقریباً به یک چهارم حجم اولیه برسد. در نهایت سلی همگن و با غلظت مناسب برای لایه نشانی چرخشی بدست می‌آید.

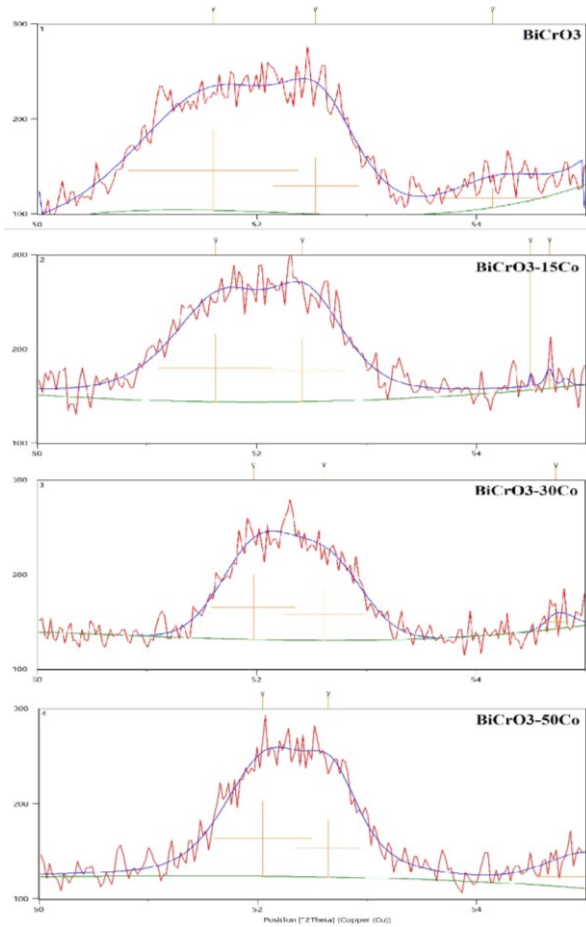
### ۳-۱- لایه نشانی:

پیش از لایه‌نشانی ابتدا زیرلایه FTO به دقت با آب و صابون و مسواک نرم شسته و پس از آب‌کشی، به ترتیب در آب DI، اتانول و ایزوپروپانول غوطه‌ور و هر کدام به مدت ده دقیقه درون التراسونیک قرار داده می‌شوند. سپس، به منظور حذف تمامی ذرات ارگانیک موجود روی سطح، زیرلایه‌ها به مدت یک ساعت در

دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد درون کوره قرار می‌گیرند. [۱۲]

برای لایه نشانی چرخشی ابتدا محلول را روی زیرلایه ریخته و سپس، دستگاه را در حالت دو مرحله‌ای قرار داده که در مرحله اول زمان ۱۰ ثانیه و دور ۱۰۰۰ و در مرحله دوم زمان ۳ دقیقه و دور روی ۳۰۰۰ تنظیم شد.

پس از لایه نشانی، به منظور خشک کردن لایه‌ها درون آون به مدت یک ساعت در دمای ۸۰ درجه قرار می‌گیرند.



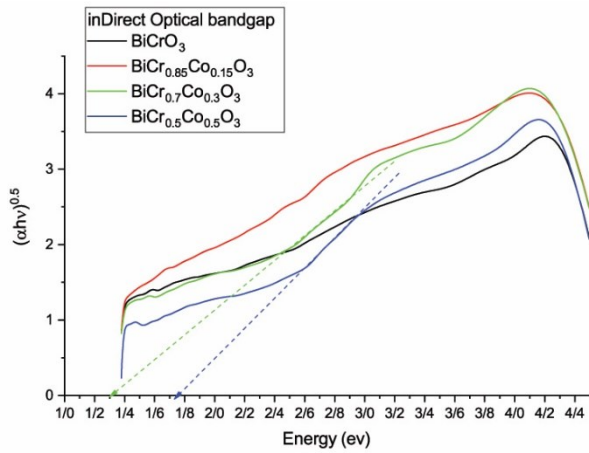
نمودار ۲: شیفیت پیک الگوی پراش ایکس نمونه‌ها در زاویه ۵۲ درجه

## ۲-۲- ویژگی نوری:

داشتن گاف نواری در محدوده طیف نور خورشیدی یکی از پارامترهای مهم برای کارایی مواد در حوزه سلول‌های خورشیدی و کاربردهای فوتوولتایی است. بدین منظور، برای تعیین گاف نواری لایه‌های نازک از طیف سنجی فرابنفش-مرئی استفاده شد. طیف مرئی-فرابنفش برای هر نمونه در گستره طول موجی (۹۰۰-۲۰۰ نانومتر) در نمودار ۳ رسم شدند. این ماده در ناحیه-ی ۳۵۰ تا ۵۰۰ نانومتر دارای جذب نوری می‌باشد. همچنین میزان جذب لایه  $\text{BiCr}_{0.85}\text{Co}_{0.15}\text{O}_3$  بسیار بیشتر از سه لایه دیگر است.

نمودار ۱، الگوی پراش پرتوی ایکس لایه‌های نازک  $\text{BiCr}_1\text{O}_3$  را نشان می‌دهد. این نمودارها نشان می‌دهند که تمام نمونه‌ها با درصدهای متفاوت کروم و کبالت ساختار بلوری دارند. طبق بررسی‌ها لایه نازک  $\text{BiCrO}_3$  در فاز پروسکایت در محدوده ۲۸ درجه دارای پیک اصلی برای صفحاتی با شاخص میلر (۲۱۱) است، همچنین، دو پیک دیگر برای این ماده در محدوده ۳۰ و ۵۲ درجه به ترتیب برای صفحاتی با شاخص میلر (۲۲۰) و (۳۳۲) وجود دارند. در نمودار ۱، به خوبی این سه پیک قابل مشاهده هستند، پیک‌های دیگر مربوط به زیرلایه FTO است که با نرم افزار شناسایی شده‌اند. پس از بررسی دقیق پیک‌ها در نمودار ۱، مشاهده شد هرچه درصد کبالت در نمونه‌ها بالاتر می‌رود پیک‌های آنالیز پرتو ایکس نمونه‌ها به سمت زوایای بالاتر (فواصل بین شبکه‌ای پایین‌تر) شیفت می‌یابند. با توجه به اینکه شعاع یونی کروم  $3+$  در حالت کریستالی ۷۵/۵ pm و شعاع یونی کبالت  $3+$  در حالت کریستالی ۶۸/۵ pm می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت با جای نشانی شدن کبالت به جای کروم در ساختار شبکه پروسکایت، فواصل بین صفحات شبکه کاهش یافته و موجب شیفت پیک لایه‌های نازک به سمت زوایای بالاتر شده است. در نمودار ۲، این اتفاق به وضوح برای پیک با اندیس میلر (۱۲۵) قابل مشاهده است.

غیر مستقیم لایه‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته که رفتار جالبی را از خود نشان می‌دهد. نمودار ۵ گاف غیر مستقیم این لایه‌ها را نشان می‌دهد.

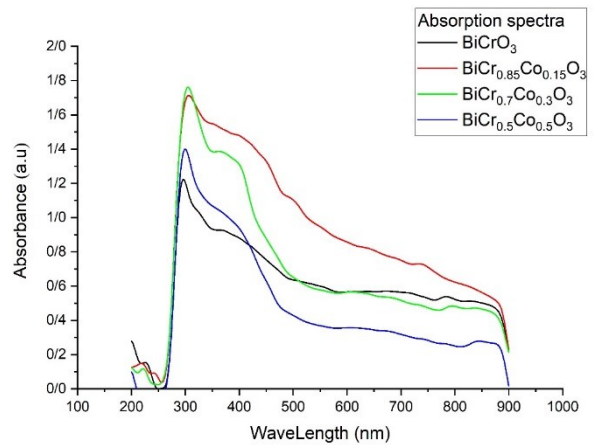


نمودار ۵: گاف نواری غیرمستقیم لایه‌های نازک  $\text{BiCr}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$

لایه‌های  $\text{BiCrO}_3$  و  $\text{BiCr}_{0.85}\text{Co}_{0.15}\text{O}_3$  دارای گاف نواری غیرمستقیم نیستند، اما لایه  $\text{BiCr}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_3$  دارای یک گاف نواری غیرمستقیم در محدوده  $3/1\text{eV}$  است که جذب بالاتر این لایه نسبت به لایه  $\text{BiCrCoO}_3$  با وجود گاف نواری مستقیم برابر را توجیه می‌کند. همچنین در لایه  $\text{BiCr}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_3$  یک گاف غیرمستقیم در حدود  $1/75\text{eV}$  مشاهده شده است که در ناحیه طیف مرئی قرار می‌گیرد. طبق پژوهشی که در سال ۲۰۱۸ بر روی ویژگی نوری ماده پروسکایت دوگانه  $\text{Bi}_2\text{CrCoO}_6$  با شبیه‌سازی کوانتومی نظریه تابعی چگالی (DFT) توسط نرم افزار VASP نشان داده شد که این ساختار دارای گاف نواری در حدود  $1/8$  الکترون ولت است، که این گاف بصورت گاف غیرمستقیم مشاهده شده است. [۸] بر این اساس می‌توان پیشنهاد داد که نمونه  $x=0.5$  از نظر گاف نواری رفتاری مشابه با ماده پروسکایت دوگانه  $\text{Bi}_2\text{Cr}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_6$  دارد. اما چون نمودار پراش پرتو ایکس از این ماده گزارش نشده است، نمی‌توان به طور کامل تشکیل آن را اثبات کرد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

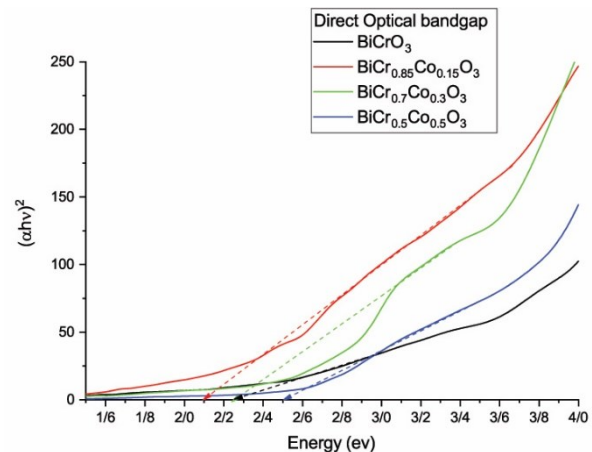
در این پژوهش، لایه‌های نازک  $\text{BiCr}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  با استفاده از روش سل-ژل و لایه‌نشانی چرخشی تهیه و نشان داده شد که



نمودار

۳: طیف جذبی لایه‌های نازک  $\text{BiCr}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$

از داده‌های طیف مرئی-فرابنفش با استفاده از روش نمودار تاوک<sup>۱</sup> و رسم منحنی  $(ahv)^2$  و  $(ahv)^{0.5}$  برحسب  $(h\nu)$ ، گاف نواری مستقیم و غیرمستقیم برای این لایه‌ها بدست می‌آید.



نمودار ۴: گاف نواری مستقیم لایه‌های نازک  $\text{BiCr}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$

همانطور که در نمودار ۴ مشاهده می‌شود، گاف مستقیم لایه  $\text{BiCr}_{0.85}\text{Co}_{0.15}\text{O}_3$  کمتر از سه لایه دیگر و در حدود  $2/10\text{eV}$  است که جذب بالای این لایه را نسبت به سه لایه دیگر توجیه می‌کند. دو لایه  $\text{BiCrO}_3$  و  $\text{BiCr}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_3$  دارای گاف مستقیم تقریباً برابر  $2/25\text{eV}$  هستند که نمی‌توان با استفاده از آن جذب بالاتر لایه  $\text{BiCr}_{0.7}\text{Co}_{0.3}\text{O}_3$  را توضیح داد. گاف نواری مستقیم لایه  $\text{BiCr}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_3$  بسیار بیشتر از سه لایه دیگر و در حدود  $2/5$  الکترون ولت است. همچنین، نمودار گاف

<sup>1</sup> Tauc Plot

[7] Zhengwei Tan, Lanqing Hong, Zhen Fan, Junjiang Tian, Luyong Zhang, Yue Jiang, Zhipeng Hou, Deyang Chen, Minghui Qin, Min Zeng, Jinwei Gao, Xubing Lu, Guofu Zhou, Xingsen Gao and Jun-Ming Liu, "Thinning ferroelectric films for high-efficiency photovoltaics based on the Schottky barrier effect", NPG Asia Materials, 11:20, 2019.

[8] Donghoon Kim, Hyeon Han, June Ho Lee, Jin Woo Choi, Jeffrey C. Grossman, Hyun Myung Jang, "Electron - hole separation in ferroelectric oxides for efficient photovoltaic responses", PNAS, 115 (26), 6566-6571, 2018.

[9] William Raja Victor, Marikani Arumugam, Madhavan Durairaj, "Magnetic and magnetoresistance of BiFe<sub>0.5</sub>Cr<sub>0.5</sub>O<sub>3</sub> thin film over Pt(111) substrate at various thicknesses by sol-gel method", Applied Ceramic Technology, 14(4), 785-794, 2017.

[10] Jia-Hui Ruan, Bei-Meng Yao, Ping Tang, Zi-Ling Deng, Sheng-Hong Yang & Yue-Li Zhang, "The Electrical and Enhanced Magnetic Properties of (Ce, Co) Doped BiFeO<sub>3</sub> Particles Synthesized Via Sol-Gel Method", Ferroelectrics, 489(1), 73-80, 2015.

[11] Ping Tang, Daihong Kuang, Shenghong Yang & Yueli Zhang, "Preparation and enhanced ferromagnetic properties in Co doped BiFeO<sub>3</sub> nanoparticles prepared by sol-gel method", Ferroelectrics, 505(1), 123-129, 2016.

[12] William R.V., Marikani A., Madhavan D, "Dielectric behavior and magnetical response for porous BFO thin films with various thicknesses over Pt/Ti/SiO<sub>2</sub>/Si substrate", Ceramics International, 42(6), 6807-6816, 2016.

در این لایه‌ها با افزایش نسبت کبالت به کروم گاف نواری غیر مستقیم در آن‌ها ایجاد می‌شود. تشکیل گاف نواری غیر مستقیم در این لایه‌ها منجر به افزایش جذب نوری آن‌ها می‌شود که می‌تواند باعث بهبود عملکرد آنها در ساخت ابزار سلول‌های خورشیدی و فوتوولتائیک شود. همچنین، نتایج حاصل از اندازه‌گیری گاف غیرمستقیم با نتایج شبیه‌سازی صورت گرفته در مرجع ۸ مطابقت دارد و امکان ساخت این ماده به صورت لایه نازک را پیشنهاد می‌دهد.

## مراجع

[1] Maciej J. Winiarski, P. Dereń, "Electronic structure of A<sub>2</sub>B'B''O<sub>6</sub>-type (A=Ca, Sr, Ba; B'=Mg,Zn; B''=Mo,W) double perovskite oxides", Optical Materials, 90, 95-98, 2019.

[2] A. Navrotsky. "Energetics and Crystal Chemical Systematics among Ilmenite, Lithium Niobate, and Perovskite Structures". Chem. Mater., 10(10), 2787, 1998.

[3] M. A. Peña and J. L. G. Fierro. "Chemical Structures and Performance of Perovskite Oxides". Chem. Rev., 101(7), 1981-2018, 2001.

[4] Sami Vasala, Maarit Karppinen, "A<sub>2</sub>B'B''O<sub>6</sub> perovskites: A review", Progress in Solid State Chemistry, 43(1-2), 1-36, 2015.

[۵] طیبه سارات هاشمی فر، علی مختاری، «بررسی ویژگی ساختاری، الکترونی و مغناطیسی پروسکایت مضاعف  $Sr_2NiWO_6$  با استفاده از محاسبات ابتدا به ساکن»، مجله پژوهش سیستم‌های بس ذره ای، ویژه نامه کنفرانس سیستم‌های بس ذره ای (کپه ای و نانومقیاس)، ۷۵-۸۲، ۱۳۹۴.

[6] Keith T. Butler, Jarvist M. Frost and Aron Walsh, "Ferroelectric materials for solar energy conversion: photoferroics revisited", Energy Environ. Sci., 8, 838, 2015.



# Optical properties of $\text{BiCr}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ double perovskite structure

Mohammad Saeed Rajabzadeh<sup>1</sup>, Seyed Mohammad Hossein Khalkhali<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Institute for Nanoscience & Nanotechnology, Sharif University, Tehran, Iran.

<sup>2</sup>Department of solid state physics, Faculty of physics, Kharazmi University, Tehran, Iran.

**Abstract:** In this research Double perovskite  $\text{BiCr}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$  (BCCO) with  $x=0, 0.15, 0.3, 0.5$  (BCCO, BCO-15CO, BCO-30CO, BCCO) Thin films were prepared by Sol-Gel and spin coating method. The formation of crystal phase was investigated using X-ray diffraction. Ultraviolet-visible spectroscopy was used to determine the band gap of these materials. The results show that by increasing the percentage of cobalt in the samples, an indirect band gap is formed in them, which is much smaller than the direct gap and increases the adsorption. The experimental results obtained are consistent with theoretical research on the optical properties of this material.

**Keywords:** Double perovskite, Optical properties, Perovskite Oxide, Ferroelectric Photovoltaic, Sol-Gel.