

مطالعه رسانندگی و اختلاف سطح الکتریکی در لایه های نازک چند بلوری CuInTe_2 و CuInSe_2 همراه با ناخالصی اندیم

مسعود دشتیانی

بخش فیزیک، دانشگاه هرمزگان

(دریافت مقاله : ۸۵/۴/۱۴ - پذیرش مقاله : ۸۹/۱/۱۵)

چکیده

مواد CuInTe_2 و CuInSe_2 از نوع مثبت (P) چند بلوری هستند که با افزودن درصدی اندیم به ترکیب عنصری این مواد، قابلیت رسانندگی آنها افزایش می یابد. با تغییر ضریبهای هال R_H و تحرک هال μ_H ، در دماها و میدانهای مختلف، دریچه ای در P-CuInTe_2 مشاهده شده است. با افزایش دما به بیش از 170 k و تغییر R_H ، فاصله بین سطح دانه ها بیشتر می شود. با افزودن درصدی اندیم به این لایه ها، ضریب هال در گستره های دمایی $77-200\text{ k}$ ثابت می ماند. در این مقاله نشان خواهیم داد که در ماده P-CuInSe_2 که به صورت لایه هایی با ترکیب عنصری است، با افزودن اندیم به دمای بیش از 150 k ، فاصله میان سطح دانه ها بیشتر می شود. در این مقاله، مقادیر μ_H در لایه های یاد شده مورد مطالعه قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: CuInTe_2 ، CuInSe_2 ، رسانندگی، ضریب هال، تحرک هال، اندیم.

Conductivity and electrical surface difference studies on polycrystalline thin films CuInTe_2 and CuInSe_2 with excess Indium

M. Dashtiani

Department of physics, Hormozgan University

Abstract

The Studies of the electrical properties for P-type thin films of CuInTe_2 and CuInSe_2 polycrystalline with the effect of excess Indium, Showed that conductivity and with the help of Hall coefficient R_H and Hall mobility μ_H for different temperature at various gate field. It indicated that in P-CuInTe_2 , the variation of R_H has been increased with temperature to grain boundary which started from 170 k by increasing few percent Indium to the stoichiometric charge. The value of Hall Co-efficient in the range of $77-200\text{ k}$ remained constant. By increasing few percent Indium to P-CuInSe_2 , the values of R_H above 150 k due to increase of grain boundary distance. In this paper, Hall mobility values were studied.

Keywords: CuInTe_2 , CuInSe_2 , Indium, Conductivity, Hall Coefficient, Hall mobility.

E-mail of corresponding author: dashtiani90@yahoo.com.

مقدمه

CuInX ($X: \text{Se}_2, \text{Te}_2$) یک ترکیب سه گانه نیمه رسانا از خانواده ۱-۳-۶ است. این گروه از نیمه رساناها دارای گاف مستقیم انرژی (E_g) در گستره (۲/۵-۰/۹) الکترون ولت است و به همین دلیل، این مواد در بعضی از سامانه های اپتوالکترونیک کاربرد دارند. در سلولهای خورشیدی و فوتولتائی [۸-۱] تهیه شده از CuInTe_2 یک نیمه رسانا با گاف انرژی (E_g) در گستره (۱/۰۶-۰/۹۳) الکترون ولت [۹-۱۱] بکار می رود که ثابت های شبکه ای در آن $a = 6/19 \text{ \AA}$ و $c = 12/36 \text{ \AA}$ ، ثابت های شبکه ای CuInSe_2 ، $a = 5/689 \text{ \AA}$ و $c = 11/61 \text{ \AA}$ و مقیاس نسبی $c/a = 2/06$ است و در دمای اتاق می توانند ترکیب خوبی با ثابتهای CdS با $a = 4/157 \text{ \AA}$ و $c = 6/172$ تهیه شده است. CdS/CuInX که دارای ساختار چند لایه ای است و در مطالعات سلولهای خورشیدی تهیه شده از CuInX ($X: \text{Se}_2, \text{Te}_2$)، مورد استفاده قرار می گیرد، می تواند اطلاعات مهمی در زمینه تبدیل انرژی در اختیار بگذارند که توسط کازمیروسکی و گاندوترا مطالعه شده است [۱۲-۱۳]. لایه های نازکی در سال های اخیر ساخته شده اند که دارای رسانش الکتریکی از نوع مثبت (P) اند. مقدار ناخالصی در لایه ها همواره مثبت است و پس از پخت در خلاء به شکل منفی (N) در می آیند [۱۴]. در این مورد تاکنون پژوهش های زیادی صورت نگرفته است.

رسانندگی الکتریکی این نوع تک بلور با آلایندهی نسبی مواد Sn , Cu , In , Se , Te بیشتر انجام شده است. همچنین فرآیند گرمایش در فشار مشخصی از گازهایی مانند هیدروژن، آرگون و H_2Se نیز اثرهای مثبتی داشته که به صورت لایه های نازک با قابلیت رسانندگی الکتریکی بالاتر بوده و لایه های مورد نظر در تبخیر درخششی (Flash evaporation) در خلاء تهی شده است [۱۷-۱۵]. در این مقاله ساختار و مشخصات نوع P مواد چند بلوری CuInX ($X: \text{Se}_2, \text{Te}_2$) به صورت ترکیب عنصری

و با افزودن درصدی از اندیم (۲٪ و ۴٪)، قابلیت رسانندگی مستقیم این دو اثر هال با تغییرات دمایی K ۲۰۰-۷۷ و پرتو اشعه X روی کلیه لایه ها مطالعه شده است.

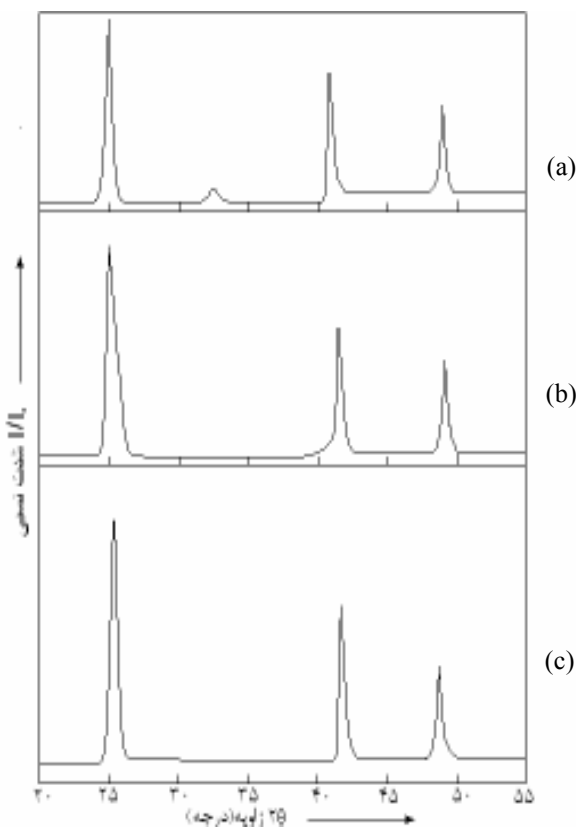
موارد و روش ها

لایه های چند بلور CuInX ($X: \text{Se}_2, \text{Te}_2$) با اندازه های مستطیلی $4 \text{ mm} \times 21 \text{ mm}$ از موادی به صورت ترکیب عنصری و نیز درصد افزونی اندیم (۲٪ و ۴٪) در خلاء نسبی در حدود $10^{-6} \text{ Pa} \times 6/66$ تور (Torr) از روی شیشه های مخصوص و سخت برای مطالعات اپتیکی تبخیر شده اند. آهنگ نشست لایه ها در حدود 1 nm/Sec بوده است و ضخامت هر یک از این لایه ها با یک دستگاه ضخامت سنج بلوری کوارتز اندازه گیری شد ($1 \mu\text{m} - 0/7$). پرتو X حاصل از یک دستگاه فیلیپس مدل PW 1130/00 و نیز پرتو $\text{CuK}\alpha$ برای تهیه نقش پراش در طیف استفاده شده اند. پیوندهای الکتریکی با خمیر نقره و هوای گرم صورت گرفته و با استفاده از استاندارد چهارگانه [۱۸] برای محاسبه و اندازه گیری اثر هال و قابلیت رسانندگی و رفتار پیوندها در دماهای مختلف توسط $I-V$ با ساختار خطی نیز بررسی شده است.

نتایج و بحث

تعداد زیادی از لایه های CuInX ($X: \text{Se}_2, \text{Te}_2$) به صورت ترکیب عنصری و افزونی اندیم با ضخامت های $1 \mu\text{m} - 0/7$ تهیه شدند. هیچ اختلاف پتانسیل الکتریکی با تغییر ضخامت دیده نشد [۱۹] و اندازه گیری هایی روی لایه هایی با ضخامت حدود $1 \mu\text{m}$ صورت گرفت. بلندی و مکان قله ها در ترکیبات فازی به خوبی با جدول استاندارد شاخص ASTM - پرتو اشعه X قابل مقایسه هستند. لایه های انباشته از ترکیب عنصری ماده (CuInSe_2)، نشان دهنده رشد دانه ها است که همواره در صفحات شبکه ای (۱۱۲)، (۲۲۰) و (۳۱۲) دیده اند و در لایه های متشکل از

D : نیم پهنای قله
 λ : طول موج پرتو X
 θ : زاویه چرخش



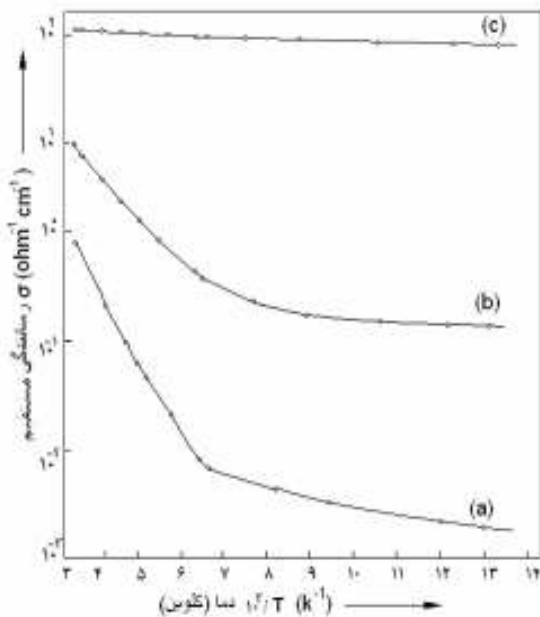
شکل ۱. طیف پراش X بر روی لایه های نازک CuInTe_2
 (A) استوکیومتری (b) ۲٪ اتمی افزودنی اندیم
 (C) ۴٪ اتمی افزودنی اندیم

ترکیب عنصری CuInTe_2 در صفحات شبکه ای (۱۱۲)،
 (۲۰۴/۲۰۲) و نیز صفحات شبکه ای (۱۱۶/۳۱۲) هم ارزی
 چشمگیری را با دستاوردهای بالا نشان داده است. از آنجا
 که اوج قله صفحه های ۱۱۲ از ۳۱ به ۶۵ افزایش یافت،
 زمانی که افزودنی اندیم لایه های CuInTe_2 به ۰.۴٪ رسید این
 شدت به ۴۰ کاهش پیدا کرد. زمانی که درصد اندیم ۰.۶٪ بوده
 است، در اوج قله سایر صفحات در زوایای $41/40^\circ$ و $48/90^\circ$
 تغییری دیده نشد [۱۹] که نشان می دهد افزایش درصد
 افزودنی اندیم روی مواد مذکور تأثیر مهمی در اندازه های
 رشد دانه ها داشته است؛ بی آنکه سمت و سوی دانه ها را
 تحت تاثیر قرار دهد. با افزودنی اندیم به CuInTe_2 یک فاز
 دیگر از نوع ترکیب دوگانه In_2Te_3 با شدت $I/I_0 = 100$ و
 سپس فاز سه گانه با شدت $I/I_0 = 40$ در صفحه (۱۱۲) دیده
 شدند شکل ۱. بنابراین، با افزودنی اندیم به مواد چند بلور سه
 گانه می توان بلور دیگری پدید آورد. مطالعات الکترون
 پرتو میکرو آنالیزور (EPMA) که از سیستم انرژی فیلپس
 SEMSOS + EDAX + Microspee - WDX -
 CuInX (X: مورد استفاده قرار گرفته، روی لایه های
 (Se_2, Te_2) نشان می دهد که لایه های فرآوری شده تقریباً
 به صورت ترکیب عنصری هستند (جدول ۱). در لایه هایی
 که اندیم اضافه شده، ساختار بلوری بهتری دیده می شود
 [۱۹]. اندازه دانه ها (I) برای این گونه لایه ها، با توجه به
 رابطه اسککار [۲۰] به شرح زیر است :

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

جدول ۱. اندازه گیری اندازه دانه ها بر روی مواد CuInTe_2

اندازه دانه (nm)	لاتیس hkl	شدت $\frac{I}{I_0}$	زاویه 2θ (درجه)	نمونه لایه
30	112	31	25.2	ترکیب چند کریستالی CuInTe_2 (استوکیومتری)
	220.204	28	41.4	
	116.312	15	48.9	
32	112	38	25.2	۲ درصدی اتمی افزودنی اندیم
	220.204	28	41.4	
	116.312	24	48.9	
36	112	65	25.2	۴ درصدی اتمی افزودنی اندیم
	220.204	30	41.4	
	116.312	25	48.9	



شکل ۲. تغییرات دمایی در رسانندگی مستقیم σ در مواد P- CuInSe_2 ، (a) به صورت ترکیب عنصری، (b) ۲٪ افزودنی اندیم، (c) ۴٪ اتمی افزودنی اندیم

فعال ثابتی دارند) $(\sigma = \sigma_0 \exp^{-\Delta E/KT})$ و تغییر آرام رسانندگی رابطه‌ای برقرار کرد، تابع $\sigma_0 e^{-\Delta E/KT} = \sigma(T_0/T)^{1/4}$ بوده و نسبت به دما به آرامی بالا می رود. نمودار رسانندگی نسبت به دما (شکل ۴ و ۵) نشان دهنده تغییراتی در رسانندگی پرشی T_0/T است که همواره باید بیشتر از ۱ باشد. خطی بودن نمودار های رسانندگی شکل ۲، وجود جریانی متغیر بر اساس رابطه زیر را در مرز دانه ها در این نوع بس بلور نشان می دهد [۲۷]:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\Delta E/KT} = \sigma_0 e^{-\Delta E/KT_0} (T_0/T)^{1/4} \quad (2)$$

که

$$T_0 = \frac{\lambda \alpha^3}{KN(EF)} \quad (3)$$

$N(E_F)$: مقدار تراکمی در تراز فرمی

λ : حجم ثابت (یا ابعاد ثابت)

α : ثابت به هم ریختگی در عملکرد موج نزدیک تراز فرمی

فرمی

K: ثابت بولتزمن

σ : رسانندگی

σ_0 : رسانندگی اولیه

T: دما

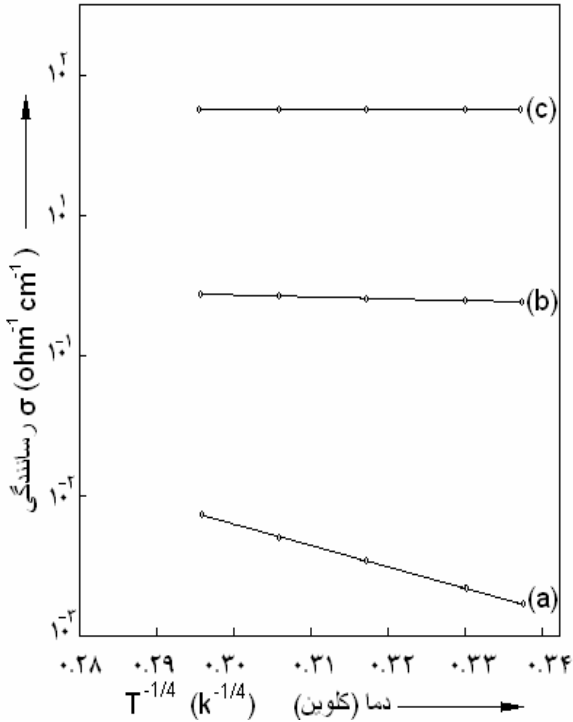
T_0 : دمای اولیه

مقدار رشد دانه ها در این مواد به ترتیب برای CuInTe_2 و CuInSe_2 به ترتیب در حدود $21/2 \text{ nm}^2$ و $25/5 \text{ nm}^2$ است که می توان گفت کلیه لایه های نازکی که تا ۴٪ اندیم افزوده شده، تک فاز (سه گانه) است و فاز جداگانه مانند: In_2Te_3 ، In_2Se_2 ، InSe ، InTe های کازمیرسکی [۲۱] که به صورت لایه های نازک به روش مقاومت گرمایی در خلاء تهیه شده اند، همخوانی کامل دارد.

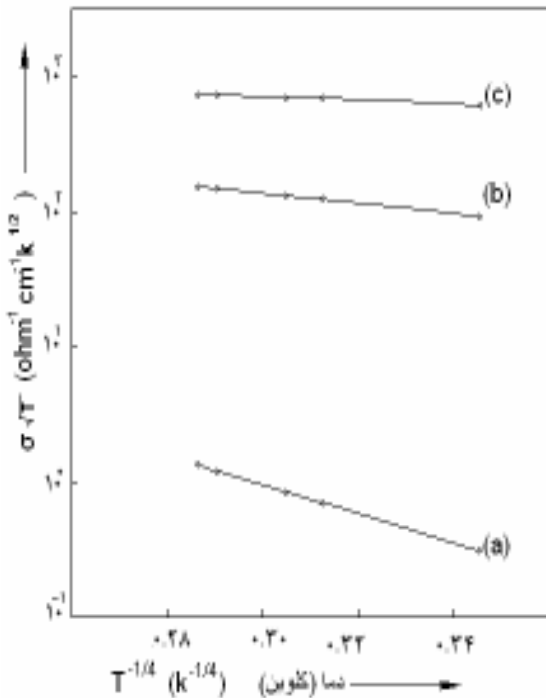
تغییرات دمایی در ترکیب عنصری به صورت لایه های نازک با ۲٪ افزودنی اندیم، اثر چشمگیری در رسانندگی σ در مواد CuInSe_2 دارد (شکل ۲). افزودن اندیم بیش از ۲٪ به این مواد، باعث می گردد تا اتم های آنها در چارچوب پیوند کووالانسی به حالت تعادل برسند. اتم های اندیم جاهایی که همواره با اتم های مس پر می شدند را اشغال کرده و باعث کاهش رسانندگی در نوع P می شوند؛ ولی با افزایش اندیم به درصد های بالای ۶٪ به این مواد، آنها به نوع N مبدل می گردند که از سرشتهای تک بلور کپه ای است [۲۳]. نتایج بالا

نشان می دهد که اندیم به صورت یک عامل پذیرنده عمل می کند، یعنی اندیم می تواند یک پذیرنده پیچیده باشد که به صورت یک تک بلور آلاینده در نیمه رساناهای ترکیبی دیده می شود [۲۴]. افزودن اندیم همواره موقعیت سطح دانه ها نسبت به هم را متأثر می سازد که این امر با افزودن فلزات در لایه های نازک (فیلمهای نازک) نیمه رسانا هم وجود دارد [۲۵-۲۶]. در دمای مختلف، اختلاف سطح لایه های بس بلوری CuInX ($X: \text{Se}_2, \text{Te}_2$) با ترکیب عنصری با تغییرات آرامی در رسانندگی به ویژه در دماهای پایین همراه است. این امر ناشی از حامل هایی است که به مرکز مرز دانه ها انتقال یافته اند.

مقدار انرژی فعال در دمای تعیین شده $150\text{k}-77$ در حدود ۱۲ میلی ولت بوده است، در صورتی که در دمای بالاتر از 150 k این مقدار انرژی فعال به 135 میلی ولت می رسد که با حرکت بارهای الکتریکی از نقطه مرزی به میانه دانه ها، با اطلاعات موجود همخوانی دارد. این که بتوان میان سازوکار فعالیت های گرمایی (نوعی که انرژی



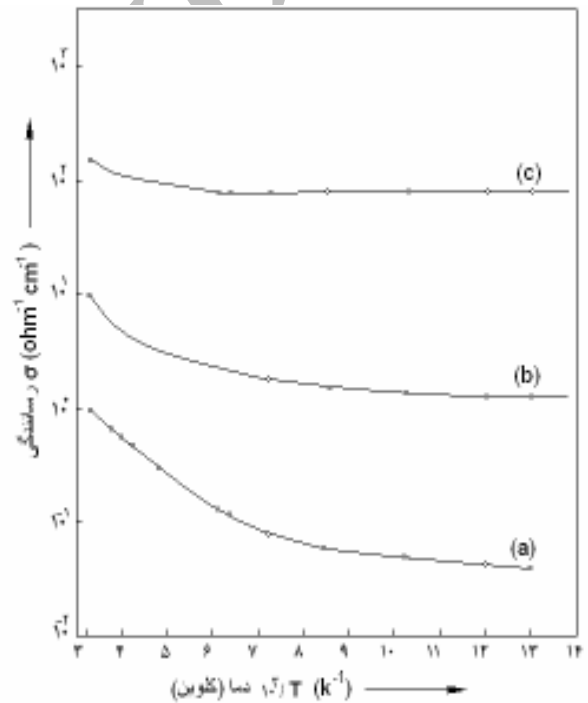
شکل ۴. تغییرات دمایی با استفاده از تغییرات دمایی شکل ۲ در رسانندگی مستقیم در مواد P-CuInSe_2 (a) به صورت ترکیب عنصری، (b) ۲٪ افزودنی اندیم، (c) ۴٪ اتمی افزودنی اندیم



شکل ۵. تغییرات دمایی با استفاده از تغییرات دمایی شکل ۲ در رسانندگی مستقیم در مواد P-CuInTe_2 (a) به صورت ترکیب عنصری، (b) ۲٪ افزودنی اندیم، (c) ۴٪ اتمی افزودنی اندیم

مقدار T_0 در رابطه (۳) برای لایه های مختلف با ترکیب عنصری در حدود $5/97 \times 10^5 \text{ k}$ است و برای رسانندگی در این لایه ها با استفاده از متغیرهای سازه های پرشی مورد نظر قرار می گیرد و از سوی لیمنی، میدولیا و بردواسکای [۲۷-۳۱] برای محاسبه σ_0 از طریق رابطه زیر بکار گرفته شده است:

$$\sigma_0 = 3e^2 \gamma_{ph} \left[\frac{N(E_F)}{8\pi\alpha KT} \right]^{1/2} \quad (4)$$



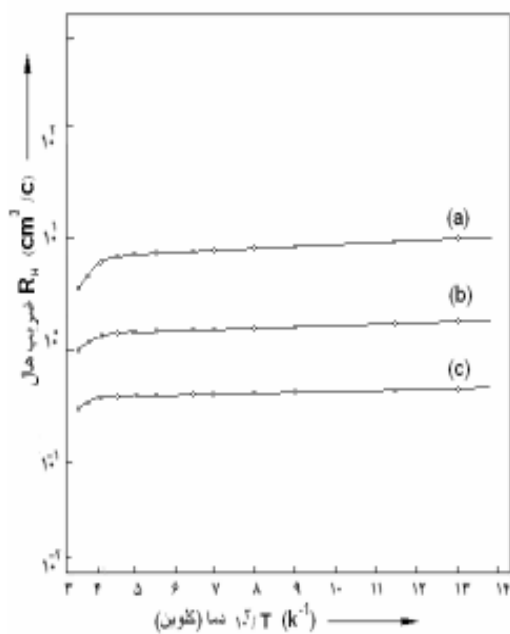
شکل ۳. تغییرات دمایی در رسانندگی مستقیم σ در مواد CuInTe_2 (a) به صورت ترکیب عنصری، (b) ۲٪ افزودنی اندیم، (c) ۴٪ افزودنی اندیم

γ_{ph} : آهنگ شمارش با مقدار تقریبی $3/3 \times 10^{12} \text{ Hz}$ [۲۹] α : حد متوسط R و انرژی پرشی W به ترتیب از معادلات زیر بدست می آیند:

$$R = \left[\frac{9}{8\pi\alpha KTN(E_F)} \right]^{1/4} \quad (5)$$

$$W = \frac{3}{4\pi R^3 N(E_F)} \quad (6)$$

پارامتر $\alpha \times R$ نشاندهنده درجه تمرکز بارهای الکتریکی در نقطه ای نزدیک به دریاچه مرکزی است. تغییرات دمایی ضریب هال $(\text{Log} R_H \text{ vs } 10^3 / T)$ با افزودن اندیم به مواد CuInX ($X: \text{Se}_2, \text{Te}_2$) درصد اتمی بنا به شکل ۲ رفتاری مانند شکل ۵ از خود نشان می دهد. با افزودن اندیم ۲٪ در گستره دمایی پایین ۱۵۰-۷۷ K بارهای الکتریکی همواره در مرز دانه ها قرار می گیرند اما در گستره بالای ۱۵۰ k این بارها از مرز دانه ها به قسمت خنثی دانه ها به حرکت در می آیند و بالا رفتن تجمع حفره ها همواره با افزودن اندیم در کوتاه شدن مرز دانه ها مؤثر خواهد بود که در نمودار رسانندگی نیز تأیید شده است.



شکل ۶. تغییرات دمایی ضریب هال در P-CuInSe_2 (a) ۲٪ افزودنی اندیم، (b) ۴٪ افزودنی اندیم

با حل معادلات (۳) و (۶) می توان به رابطه زیر رسید:

$$\int N(E_F) = 5.5 \times 10^{10} (\sigma_0)^3 T_0^{1/2} \text{ev}^{-1} \text{Cm}^{-3} \quad (7)$$

وقتی $T = 100 \text{ K}$ است، برای α و R خواهیم داشت:

$$R = \left[\frac{41.5634}{\alpha N(E_F)} \right]^{1/4} \quad (8)$$

$$\alpha = 64.303 \sigma_0 T_0^{1/2} \text{Cm}^{-1} \quad (9)$$

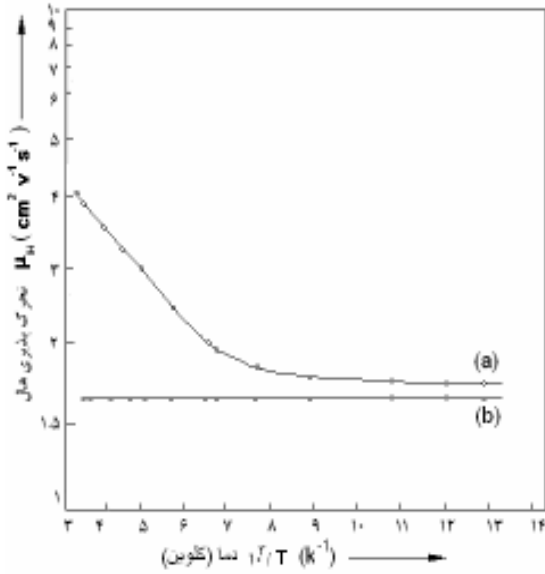
در اشکال (۳ و ۴) (نمودار $\text{Log} \sigma \text{ vs } T^{-1/4}$)، رسانندگی لایه ها با افزودنی ۲٪ و ۴٪ اندیم در دماهای پایین بررسی شده و متغیر مدل پرشی در نمودارها دیده می شوند و مقدار های وابسته به پارامترهای مطالعه شده با استفاده از رابطه های بالا در جدول شماره ۲ ارایه شده است.

با توجه به جدول یاد شده، انرژی فعال مواد CuInSe_2 با افزودن اندیم ۲٪، ۴۵ meV و انرژی رسانندگی ۱۸ meV دیده شده که از انرژی رسانندگی مواد با ترکیب عنصری بسیار کمتر است. از سوی دیگر، انرژی فعال و رسانندگی با افزودن درصدی اندیم CuInTe_2 نسبت به ترکیب عنصری آن کاهش نشان می دهد.

T/T_0 را می توان به عنوان درجه بی نظمی در مواد CuInX ($X: \text{Se}_2, \text{Te}_2$) در نظر گرفت که در موادی با لایه عنصری CuInSe_2 به مقدار $10^3 \times 5/96$ و در CuInTe_2 به $10^3 \times 1/59$ و با افزودن اندیم ۲٪ به ترتیب به $10^1 \times 3/71$ و $10^2 \times 2/14$ تغییر می کند. البته، با افزودن اندیم ۴٪ به بالا به این مواد، مشخص شد که درجه بی نظمی به شکل مداوم کاهش می یابد.

جدول ۲. محاسبه انرژی فعال و انرژی رسانندگی فعال بر روی مواد CuInX ($X: \text{Se}_2, \text{Te}_2$)

انرژی رسانندگی فعال E_δ meV	انرژی فعال E_p meV	نوع نمونه	نوع کریستال
۱۳۵	---	استوکیومتری	CuInSe_2
۱۸	۴۵	۲٪ فزونی اندیم	
---	---	۴٪ فزونی اندیم	
58.4	71.5	استوکیومتری	CuInTe_2
50.99	64.0	۲٪ فزونی اندیم	
48.75	43.20	۴٪ فزونی اندیم	

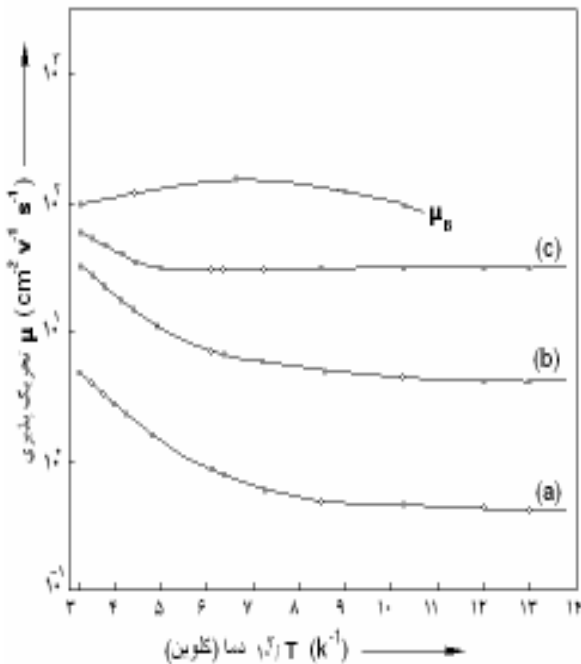


شکل ۸. دمایی تحرک هال μ_H در P-CuInSe_2 (a) ۲٪ افزودنی اندیم، (b) ۴٪ افزودنی اندیم

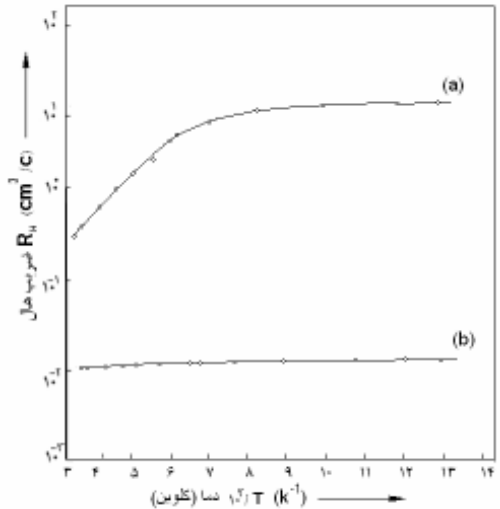
در لایه های انرژی فعال در رسانندگی، با رابطه زیر تعریف می شود:

$$E_\sigma \approx E_p + e\phi_B \quad (12)$$

که E_p انرژی فعال ضریب هال که به ترتیب برای مواد بس بلور CuInTe_2 و CuInSe_2 در جدول شماره ۲ نشان داده شده اند.



شکل ۹. تغییرات دمایی تحرک هال μ_H در P-CuInTe_2 (a) به صورت ترکیب عنصری، (b) ۲٪ افزودنی اندیم، (c) ۴٪ افزودنی اندیم



شکل ۷. تغییرات دمایی ضریب هال در P-CuInTe_2 (a) به صورت ترکیب عنصری، (b) ۲٪ افزودنی اندیم، (c) ۴٪ افزودنی اندیم

با افزودن اندیم تغییرات تحریک پذیری μ_H با تغییر دمایی در کلیه لایه های مواد CuInX ($X: \text{Se}_2, \text{Te}_2$) در شکل های ۸ و ۹ مشاهده می گردد و می توان دریافت که تحریک پذیری ابتدا افزایش و با افزودن اندیم کاهش می یابد. پس از افزودن اندیم ۴٪ تحریک پذیری با تغییر دما به صورت معادله ۱۰ در لایه های مختلف تغییر کرد و حامل ها نوعی سازوکار پرش در دمای پایین گستره $150\text{K} - 77$ بروز می دهند. در حد بالای تحریک پذیری هال رسانندگی پرشی در حدود $1\text{Cm}^2/\text{V}\cdot\text{Sec}$ است که نشان می دهد انتشار گرما به دلیل بار الکتریکی روانی است که در گستره دمایی بالای 150K به حرکت درآمده اند و این تحریک پذیری به شکل نفوذ پذیری در مرز دانه ها مشاهده می گردد. تحریک پذیری در گستره دمای بالای این لایه ها در مدل سیتو بنا به نوع تحریک پذیری، با رابطه زیر تعریف می شود:

$$\mu = \mu_0 \exp[-e\phi_B / KT] \quad (10)$$

$$\mu_0 = el \left[\frac{8}{\beta^2 \pi km} \right]^{1/2} \quad (11)$$

که در آن:

β ثابت عددی، m جرم موثر بارهای الکتریکی روان، e بار الکترون، K ثابت بولتزمن و $e\phi_B$ قابلیت سطح دانه هاست. مقدار $e\phi_B$ در این نوع لایه ها در حدود 19meV است و

منابع

1. L. L. Kazmerski, and S. Wagner, Ternary and Multinary Compounds, *Current topics in photo voltaici*; Academic Press, (1985)453-469.
2. H. Neumann, B. Perlt, A. K. Abdul-Hussein, R. D. Tomlinson and A. E. Hill, *Optical properties of amorphous CuInSe_2* , Solid State Commun, 42 (1982)855-863.
3. R. W. Birkmire, L. C. Dinetta, P. G. Lasswell, J. D. Meakin and J.E. Phillips, *High efficiency CuInSe_2 based heterojunction solar cells: fabrication and results*, Solar Cells, 16 (1986)419-427.
4. R. R. Arya, T. Warminski, B. R. Beaulieu, M. Kwietniak and J. J. Loferski, *Solar Energy Materials*, 8 (1983)471-485.
5. J. D. Meakin, R. W. Birkmire, L. C. Dinetta, P. G. Lasswell and J. E. Phillips, *Thin film tandem solar cells*, Solar Cells, 16 (1986)447-451.
6. J. L. Shay, S. Wagner and H. M. Kasper, *Efficient CuInSe_2 /CdS Solar Cells*, Applied. Physics. Letter, 27(1975)89-96.
7. L. L. Kazmerski, F. R. White and G. K. Morgan, *Photovoltaic devices and compositions for use there in*, Appl. Phys. Lett, 29 (1976)268-273.
8. Y. Kokubun and M. Wada, *Preparation and Characterization of the junction n- CuInSe_2 /p- CdTe* , Japan. Journal. Applied. Physics, 16(1977)879-880.
9. N.V. Joshi and N. M. Aguilar, *Division of physical and mathematical studies of binary compound*, Journal. Physics. Chem. Solids. Solids, 43 (1982)792-798.
10. R. D. Tomlinson, D. Omezi, J. Parkes, and M. J. Hampshire, *Evaporation source temperature on the composition of CuInSe_2 thin films*, Thin Solid Film, 65(1980) 1-7.
11. R. D. L. Kristen, S. Sahu and D. Haneman, *Flash evaporation of CuInSe_2 films*, Solar Energy Material, 8 (1981) 520-527.
12. S. M. Wasim, G. Marcano and G. S. Porras, *Real time measurement of in-plane translation and tilt by electronic speckle correction*, Japan. Journal Applied Physics, 19, 13-Suppl, (1980)123-131.
13. V. K. Gandotra, K. V. Ferdinand, C. Jagadisl, A. Kumar and P. C. Mathur, *Effect of excess indium on the electrical properties of polycrystalline thin films of CuInSe_2* , Physics State Solida (a), 98(1986) 595-560.

رابطه بالا نشان می دهد، قابلیت مرز دانه های یک لایه بس بلور از جنس مواد خوب (با خلوص $5N$) کم است. در صورتی که E_g بسیار بیشتر از قابلیت مرز دانه هاست. از طرف دیگر، وقتی قابلیت سطح دانه های این مواد بالاست، مقدار E_g تقریباً برابر با انرژی فعال تحریک پذیری است [۳۱].

تغییرات دمایی با تحریک پذیری در لایه های با افزودنی اندیم ۲٪ در مواد CuInSe_2 قابل قیاس با کپه ای است [۳۲]. کاهش تحریک پذیری با افزایش دما در نفوذ پذیری بخش شبکه چشمگیر است ولی تغییر دما در تحریک پذیری لایه هایی که بیش از ۴٪ اندیم دارند، تأثیری ندارد که خود نوعی نیمه رسانایی ذاتی با غلظت بالاست [۳۳-۳۵]. نتیجه اینکه افزایش اندیم ۲٪ در لایه های نازک چند بلور CuInX (X: Se_2 , Te_2) نشان می دهد که فاصله دانه ها همواره کم می شود که نتیجه در شکل گیری رسانندگی و تحریک پذیری بارهای الکتریکی سطحی جلوه می کند.

تشکر و قدر دانی

از پرفسور پی - سی - ماتور و همکارانش در دانشگاه دهلی و همکاران ارجمند آقای دکتر پیمان رضایی و دکتر محمد کاوئی در جمع بندی این مقاله و در ضمن از پیشنهاد های سازنده داوران محترم مجله در ارایه بهتر مقاله سپاس گزاری می شود.

14. S. M. Wasim, G. S. Porras and R. D. Tomlinson, *Effect of annealing on electrical studies of ternary and binary compound*, Physics State Solida, A, 71 (1982)810- 823.
15. S. M. Wasim, *Transport properties of CuInSe_2* , Solar Cells, 16(1986)289-296.
16. L. L. Kazmerski and Y. J. Juang, *Properties of structural phase transition in ternary compound*, J. Vacuum Science. Technology, 14(1977)769.
17. A. L. Dawar, A. Kumar, R. P. Anil Mall and P. C. Mthur, *Growth and electrical transport properties of CuInTe_2 thin films*, Thin Solid Films, 17(1984)107-115.
18. R. R. Potter, *solar Cells*, 16(1986) 521-529.

19. M. Dashtiani, D. P. Sharma and B. R Sethi, *Effect of excess copper on CuInTe_2 thin films*, 2nd Intentional Conference and Intensive Tutorial Course on Semiconductor Materias, New Delhi, India, Dec 14-19(1992)50-57.
20. L. I. Maissel and R. Glang, *Handbook of thin film technology*, McGraw Hill, New York, (1970)1-517.
21. L. L. Kazmerski, M. S. Ayyagari, G. A. Sanborn, F. R. White and A. J. Merrill, *Thinnest two dimentional nanomaterial graphene for solar energy*, Thin Solid Films, 37 (1976) 323-338.
22. C. Rincon and S. M. Wasim, *Impurity state wide-gap studies in chalcopyrite CuInSe_2 materias*, Phys. State Solida, A 81(1984)72-77.
23. H. Neumann, E. Nowak and G. Kuhn, *Electrical compensation processes in the n- and p-type conductivity of the 1_{ST} 3_{RD} 5_{TH} 2 Compounds*, Crystal Resistance Technology, 16(1986)399-408.
24. B. R. Sethi and P. C. Mathur, *Tranport porperties of ternary compounds and analysis of 3_{rd} - 5_{th} semiconductor*, Physics State Solida, A 46(1978)717-721.
25. D. J. Wheeler and D. Hanemen, *Surface barrier measurement in mated specimens scanning electron microscopy.*, Surface Science, 42(1974)228-234.
26. H. H. Weidler. *Theoretical studies on optical and electerical single crystal semiconduction materias*, Solid State Electric, 9(1966)373-383.
27. P. C. Mathur, O. P Taneja, H. V. Hrishna and A. L. Dawar, *Electron mobility in n-InSb from 77 to 300 K*, Phys. Stat. Sol, A 54(1979)391-395.
28. H. J. Lewerenz and E. Kotz, *Interphase characterization on n- CuInSe_2 /l"-l₂ acidic electrolyte contact*, Journal Applied Physics, 60(1986)1430-1438.
29. N. F. Mott and E. A. Davis, *Electronic processes in noncrystalline materials*, Clarendon Press, Oxford, (1971) 41-57.
30. B. R. Sethi, M. Dashtiani, O. P. Sharma and P. C. Mathur, *X-ray diffraction and conductivity studies in polycrystalline thin films of CuInTe_2 with excess copper content*, Physics State Solid, A (1992) 13-19.
31. M. Dashtiani, O. P. Sharma and B. R. Sethi, *Field effect studies on MIS structure of P-type CuInTe_2 films having excess Cu and In*, 3rd International Conference on Semiconductor Materials and Technology, New Delhi, India (1996)70-77.
32. H. Neumann, E. Nowak, B. Schumann and G. Kuhu, *Structural and electerical properties of CuInSe_2 epitaxial layers prepared single source evaporation*, Thin Solid Films, 74(1980)197-206.
33. H. M. Gerischer *Electrical studies on semiconductor material as a wild range on energy demond*, Solar Energy Conversion, Berlin - Heidelberg (2002)108-115.
34. M. Dashtiani, *Conductivity and electrical surface difference studies on polycrystalline thin films CuInSe_2 and CuInTe_2 with excess indium films*. Seventh Annual Seminar on Surface Science and Energy, Esfahan University of Technology, Esfahan I.R.IRAN, May 17-18(2006)151-156.
35. M. Dashtiani, *Studies structural properties on $\text{CuInTe}_2/\text{CdS}$ solar cell*, International Conference on Microwave and Opto-Electronic, ICMO, Orangabbad, India (2007)927-934.