مطالعه رسانندگی و اختلاف سطح الکتریکی در لایه های نازک چند بلوری و CuInTe₂ همراه با ناخالصی اندیم

مسعود دشتياني

بخش فیزیک، دانشگاه هرمزگان (دریافت مقاله : ۸۵/۴/۱۴ – یذیرش مقاله : ۸۹/۱/۱۵)

چکیدہ

مواد CuInTe₂ و CuInSe₂ 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-CuInTe₂ مشاهده شده است. با افزایش دما به بیش از ۱۷۰ 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 ۲۰۰ – ۷۷ ثابت می ماند . در این مقاله نشان خواهیم داد که در ماده P-CuInSe که به صورت لایه هایی با ترکیب عنصری است. با افزودن اندیم به دمای بیش از ۱۰ ها فاصله میان سطح دانه ها بیشتر می شود. در این مقاله، مقادیر μ_H در لایه های یا ترکیب عنصری است. با افزودن اندیم به دمای بیش از ۱۰ ه

واژه های کلیدی: CuInSe₂ ، CuInTe*2، رسانندگی، ضریب هال، تحر*ی هال، اندیم

Conductivity and electrical surface difference studies on polycrystalline thin films CuInTe₂ and CuInSe₂ 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-CuInTe₂, 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 k remained constant. By increasing few percent Indium to P-CuInSe₂, the values of R_H above 150 k due to increase of grain boundary distance. In this paper, Hall mobility values were studied.

Keywords: CuInTe2, CuInSe2, Indium, Conductivity, Hall Coefficient, Hall mobility.

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

و بــا افــزودن درصــدی از انــدیم (۲٪ و ۴٪) ، قابلیــت رسانندگی مستقیم ایـن دو اثـر هـال بـا تغییـرات دمـایی K ۲۰۰– ۷۷ و پرتو اشعه X روی کلیه لایـه هـا مطالعـه شـده

موارد و روش ها

است.

لایه های چند بلور (CuInX (X: Se₂, Te₂) با اندازه های مستطیلی ۲۱۳۳۳ از موادی به صورت ترکیب مستطیلی ۲۱۳۳۳ از موادی به صورت ترکیب عنصری و نیـز درصـد افزونـی انـدیم (۲٪ و ۴٪) در خـلاء نـسبی در حـدود Pa⁻⁵ ۲۰ × ۶/۶۶ تـور (Torr) از روی شیشه های مخصوص و سخت برای مطالعات اپتیکی تبخیر شده اند. آهنگ نشست لایه ها درحـدود ۱۳۳/۶ بوده شده اند. آهنگ نشست لایه ها درحـدود ۱۳/۶ بوده است و ضخامت هر یک از ایـن لایـه ها با یک دستگاه ضخامت سنج بلوری کوارتز اندازه گیری شد (۲۴۰– ۷/۰). وزیز پرتو X حاصل از یک دستگاه فیلیپس مدل 1130/00 باده وزیز پرتو m ۲۱30/00 برای تهیه نقش پـراش در طیف استفاده وزیز پرتو m محاصل از یک دستگاه فیلیپس مدل 1130/00 باد. وزیز پرتو m محاصل از یک دستگاه فیلیپس مدل مدل ۵۰/۵0 باد وزیز پرتو میراند و با استفاده از استاندارد چهارگانه [۸۸] بـرای شده اند. پیوندهای الکتریکی بـا خمیر نقـره و هـوای گـرم مورت گرفته و با استفاده از استاندارد چهارگانه [۸۸] بـرای محاسـبه و انـدزه گیـری اثـر هـال و قابلیـت رسـانندگی و رفتارپیوندها در دماهای مختلف توسط V-۱ با ساختار خطی نیز بررسی شده است.

نتايج و بحث

تعداد زیادی از لایه های (CuInX (X: Se₂, Te₂) به صورت ترکیب عنصری و افزونی اندیم با ضخامت های صورت ترکیب عنصری و افزونی اندیم با ضخامت های تغییر ضخامت دیده نشد[۱۹] و اندازه گیری هایی روی لایه هایی با ضخامت حدود μμ ۱ 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 (CuInSe2)، نشان دهنده رشد دانه ها است که همواره در صفحات شبکه ای دهنده رشد دانه ها است که همواره در طفحات شبکه ای مقدمه

دسانا (X: Se₂, Te₂) 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 CuInTe₂ یک نیمه رسانا با گاف انرژی (Eg) در گستره (۱/۰۶– ۱/۰۶) الكترون ولت [١١- ٩] بكار مي رود كه ثابت هاي شبكه ای در آن a = ۶/۱۹ Å مای شبکه در آن c = ۱۲/۳۶ Å و c ای $a = \delta/9 \wedge 9 Å$ ، CuInSe₂ و $a = \delta/9 \wedge 9 Å$ c/a = ۲/۰۰۶ است و در دمای اتباق مبی توانند نسبى ترکیب خـوبی بـا ثابتهـای CdS بـا a = ۴/۱۵۷Å و Å c = ۶/۱۷۲ تھیےہ شـدہ اسـت. CdS/CuInX کےہ دارای ساختار چنــد لایــهای اســت و در مطالعــات سـلولهای خورشیدی تهیه شده از (CuInX (X: Se₂, Te₂) مورد استفاده قرار می گیرد، می تواند اطلاعـات مهمـی در زمینـه تبدیل انـرژی در اختیـار بگذاردکـه توسط کازمیروسکی و گاندوترا مطالعه شده است [۱۳– ۱۲]. لایـه هـای نـازکی در سال های اخیر ساخته شده اند که دارای رسانش الکتریکی از نوع مثبت (P) اند. مقدار ناخالصی در لایـه هـا 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 آلایندگی نسبی مواد Te, Se, In, Cu, Sn بیشتر انجام شده است. همچنین فرآیند گرمایش در فشار مشخصی از گازهایی مانند هیدروژن، آرگون و H2Se نیز اثرهای مثبتی داشته که به صورت لایه های نازک با قابلیت رسانندگی الکتریکی بالاتر بوده و لایه های مورد نظر درتبخیر درخششی (Flash بوده و لایه های مورد نظر درتبخیر درخششی (VI- ۱۵]. در این مقالسه ساختار و مشخصات نوع P مواد چند بلوری(Se2, Te2, 202) به صورت ترکیب عنصری

www.SID.ir



$$l = \frac{\lambda}{D\cos\theta} \tag{1}$$

اندازه دانه (nm)	لاتیس hkl	$rac{I}{I_0}$ شدت	زاويه 2 <i>0</i> (درجه)	نمونه لايه
30	112 220.204 116.312	31 28 15	25.2 41.4 48.9	ترکیب چند کریستالی CuInTe ₂ (استوکیومتری)
32	112 220.204 116.312	38 28 24	25.2 41.4 48.9	۲ درصدی اتمی افزودنی اندیم
36	112 220.204 116.312	65 30 25	25.2 41.4 48.9	۴ درصدی اتمی افزودنی اندیم

جدول ۱. اندازه گیری اندازه دانه ها بر روی مواد CuInTe₂

www.SID.ir



۲: تابت به هم ریختگی در عملکرد موج نزدیک تراز فرمی K : ثابت بولتزمن σ : رسانندگی هσ0: رسانندگی اولیه T : دما اولیه

مقدار رشد دانه ها در این مواد به ترتیب برای CuInTe₂ و ست است $11/5~nm^2$ به ترتیب در حدود $CuInSe_2$ که می توان گفت کلیه لایه های نازکی که تا ۴٪ اندیم افزوده شده، تک فاز (سه گانه) است و فاز جداگانه مانند: In₂Te₃ In₂Se₂ InSe,InTe, و In ديده نمى شود. اين مهم با نتيجـه های کازمیرسکی[۲۱] که به صورت لایه های نازک بـه روش مقاومت گرمایی در خلاء تهیه شده اند، همخوانی کامل دارد. تغییرات دمایی درترکیب عنصری به صورت لایه های نازک با ۲٪ افزونی اندیم، اثر چشمگیری در رسانندگی σ در مواد CuInSe₂ دارد (شکل ۲). افزودن اندیم بیش از ۲٪ به این مواد، باعث می گردد تا اتم های آنها درچارچوب 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 مي دهدكه انديم به صورت يک عامل پذيرنده عمل مي كند، يعنى انديم مي تواند يك پذيرنده پيچيده باشد كه به صورت یک تک بلور آلاینده در نیمه رساناهای ترکیبی دیده مي شود[٢۴]. افزودن انديم همواره موقعيت سطح دانه ها نسبت به هم را متأثر می سازد که این امر با افزودن فلزات در لايه هاي نازك (فيلمهاي نازك) نيمه رسانا هم وجود دارد[۲۶- ۲۵] .در دمای مختلف، اختلاف سطح لایه های بس بلوری CuInX(X: Se₂, Te₂) 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 يافته اند.

مقدار انرژی فعال در دمای تعیین شده ۱۵۰k–۷۷ در حدود ۱۲ میلی ولت بوده است، در صورتی که در دمای بالاتر از k ۱۵۰ این مقدار انرژی فعال به ۱۳۵ 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 (c

(b)

مقدار T_0 در رابطه (۳) برای لایه های مختلف با ترکیب عنصری در حدود k ۱۰^۵ × ۱۰^۸ است و برای رسانندگی در این لایه ها با استفاده از متغییر های سازه های پرشی مورد نظر قرار می گیرد و از سوی لیمنی، میدولیا و بردواسکای نظر قرار می محاسبه σ_0 از طریق رابطه زیر بکار گرفته شده است:



سکل ۲. نعییرات دمایی در رسانندگی مستقیم ۵ در مواد - ۲ (a) ،CuInTe₂ (b) به صورت ترکیب عنصری، (b) ۲٪ افزودنی اندیم، (c) ۴(c)



$$R = \left\lfloor \frac{9}{8\pi\alpha KTN(E_F)} \right\rfloor \tag{(a)}$$

$$W = \frac{3}{4\pi R^3 N(E_F)} \tag{9}$$

لورن) یم ۵ در مواد -P (h) ۲٪ افزودنی اندیم، ی ۳/۳ × ۱۰^{۱۲} Hz ل W به ترتیب از

T^{-1/4} (k^{-1/4}) (گورن) (K^{-1/4} (k^{-1/4}) (

. 11

شکل۴. تغییرات دمایی با استفاده از تغییرات دمایی شکل ۲ در رسانندگی مستقیم در مواد P-CuInSe₂) به صورت ترکیب

عنصري، (b) ٢٪ افزودني انديم، (۴(c ٪ اتمي افزودني انديم

۔ دما (كلوين)

1.77

....

....

(c)

رسانندگی مستقیم در مواد a)P-CuInSe₂) به صورت ترکیب عنصری، (b) ۲٪ افزودنی اندیم، (۴(c) ٪ اتمی افزودنی اندیم

www.SID.ir

1.

1.

١-١

۱.,

1.

1.

١.

۱ł

١.

σ <rp>T (ohm¹ cm¹k¹²

٠.٢٨

+.19

....

 $T^{-1/4}$ (k^{-1/4})

 $(ohm^1 cm^1)$ و $(m^1 cm^1)$

پارامتر $R \times R$ نشاندهنده درجه تمرکز بارهای الکتریکی در نقطه ای نزدیک به دریچه مرکزی است. تغییرات دمایی ضریب هال $(T / LogR_H vs10^3)$ با افزودن اندیم به مواد (X: Se2, Te2) درصد اتمی بنا به شکل ۲ رفتاری مانند شکل ۵ از خود نشان می دهد. با افزودن اندیم ۲٪ درگستره دمایی پایین ۲۸ - ۷۵ – ۷۷ بارهای الکتریکی همواره درمرز دانه ها قرار می گیرند امادرگستره بالای ۲ ما ۱ین 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 درکوتاه شدن مرز دانه ها مؤثر خواهد بود که در نمودار



بل معادلات (۳) و (۶) می توان به رابطه زیر رسید:	~	با
$\int N(E_{\rm E}) = 5.5 \times 10^{10} (\sigma_0)^3 T_0^{1/2} ev^{-1} Cm^{-3}$	()	()

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

$$\alpha = 64.303\sigma_0 T_0^{1/2} Cm^{-1} \tag{9}$$

در اشکال (۴و۴) (نمودار ⁻⁻⁻ در اشکال (۳و۴) (نمودار)، رسانندگی لایه ها با افزودنی ۲٪ و ۴٪ اندیم در دماهای پایین بررسی شده و متغیر مدل پرشی در نمودارها دیده میشوند 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 CuInSe₂ با افزودن اندیم ۲٪، ۳e۷ meV و انرژی رسانندگی ۱۸meV دیده شده که از انرژی رسانندگی مواد با ترکیب عنصری بسیار کمتر است. از سوی دیگر، انرژی فعال و رسانندگی با افزودن درصدی اندیم CuInTe₂، نسبت به ترکیب عنصری آن کاهش نشان می دهد. را می توان به عنوان درجه بی نظمی در مواد T/T_0 در نظر گرفت که در موادی با CuInX (X: Se₂, Te₂) لایے عنصری *CuInSe* بے مقدار ۱۰^۳ × ۵/۹۶ و در *CuInTe* به ۲۰۰ × ۱/۵۹ و با افزودن اندیم ۲٪ به ترتيب به ۱۰^۱ × ۲/۷۱ و ۲/۱۴ × ۲/۱۴ تغيير مي كند. البته، بـ افزودن اندیم ۴٪ به بالا به این مواد، مشخص شد که درجه

بي نظمي به شكل مداوم كاهش مي يابد.

انرژی رسانندگی فعال $E_{\delta} = \mathrm{meV}$	انرژی فعال $E_p = { m meV}$	نوع نمونه	نوع كريستال
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	

جدول ۲. محاسبه انرژی فعال و انرژی رسانندگی فعال بر روی مواد (CuInX(X : Se₂,Te₂)

١.



صورت ترکیب عنصری، (b) ۲٪ افزودنی اندیم، ۴٪ افزودنی اندیم



$$\mu = \mu_0 \exp\left[-e\phi_B / KT\right] \tag{(1.)}$$

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

که در آن :

eta 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 ۱۹meV است و

www.SID.ir

منابع

- L. L. Kazmerski, and S. Wagner, Ternary and Multinary Compounds, *Current topics in photo voltaci*; Academic Press, (1985)453-469.
- H. Neumann, B. Perlt, A. K. Abdul-Hussein, R. D. Tomlinsonand and A. E. Hill, *Optical* properties of amorphous CuInSe₂, Solid State Commun, 42 (1982)855-863.
- R. W. Birkmire, L. C. Dinetta, P. G. Lasswell, J. D. Meakin and J.E.Phillips, *High efficiency CuInSe₂* based hetrojuntion solar cells:fabrication and results, Solar Cells, 16 (1986)419-427.
- R. R. Arya, T. Warminski, B. R. Beaulieu, M. Kwietniak and J. J. Loferski, Solar Energy Materials, 8 (1983)471-485.
- 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.
- J. L. Shay, S. Wagner and H. M. Kasper, *Efficient CuInSe*₂ /*CdS Solar Cells*, Applied. Physics. Letter, 27(1975)89-96.
- L. L. Kazmerski, F. R.White and G. K. Morgan, *Photovoltic devices and compositions for use there in*, Appl. Phys. Lett, 29 (1976)268-273.
- Y. Kokubun and M. Wada, Preparation and Characterization of the junction n- CuInSe₂/p-CdTe, Japan. Journal. Applied. Physics, 16(1977)879-880.
- 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.
- R. D. Tomlinson, D. Omezi, J. Parkes, and M. J. Hampshire, *Evaportion source temperature* on the composition of CuInSe₂ thin films, Thin Solid Film, 65(1980) 1-7.
- 11. R. D. L. Kristen, S. Sahu and D. Haneman, *Flash evaportion of CuInSe*₂ *films*, Solar EnergyMaterial, 8 (1981) 520-527.
- 12. S. M. Wasim, G. Marcano and G. S. Porras, *Real time measurement of in-plne translation and tilt by electronic speckle correction*,Japan. Journal Applied Physics, 19, 13-Suppl, (1980)123-131.
- 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 بلـور از جنس مواد خوب (با خلوص۵N)کم است. در صورتی که بسیار بیشتر از قابلیت مرز دانه هاست. از طرف دیگر، وقتی E_{σ} قابليت سطح دانه هاي اين مواد بالاست، مقدار E_{σ} تقريباً برابر با انر ژی فعال تحریک پذیری است[۳۱]. تغییرات دمایی با تحریک یـذیری در لایـه هـای بـا افزودنـی انديم ۲٪ در مواد CuInSe2 قابل قياس با كپه اى است[۳۲]. کاهش تحریک پذیری با افزایش دما در نفوذ پذیری بخش شبکه چـشمگیر است ولی تغییر دما در تحریک پـذیری لایه هایی که بیش از ۴٪ اندیم دارند، تأثیری ندارد که خود نوعي نيمه رسانايي ذاتي با غلظت بالاست [٣٣– ٣٥]. شجه اینکه افزایش اندیم ۲٪ در لایه های نازک چند بلور (CuInX(X: Se₂, Te₂ نشان مے دہد کہ فاصلہ دانه هـا همـواره كـم مـي شـود كـه نتيجـه در شـكل گيـري رسانندگی و تحریک پذیری بارهای الکتریکی سط جلوه مي کند.

تشکر و قدر دانی از پرفسور پی – سی – ماتور و همکارانش در دانشگاه دهلی و همکاران ارجمندم 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.

- 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, *Tranport properties of CuInSe*₂, Solar Cells, 16(1986)289-296.
- L. L. Kazmerski and Y. J. Juang, Properties of structural phase trasition in ternary compound, J. Vacuum Science. Technology, 14(1977)769.
- A. L. Dawar, A. Kumar, R. P. Anil Mall and P. C. Mthur, *Growth and electrical transport* properties of CuInTe₂ thin films ,Thin Solid Films, 17(1984)107-115.
- 18. R. R. Potter, solar Cells, 16(1986) 521-529.

- M. Dashtiani, D. P. Sharma and B. R Sethi, *Effect of exess copper on CuInTe₂ 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.
- 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 CuInSe₂ materias, Phys. State Solida, A 81(1984)72-77.
- 23. H. Neumann, E. Nowak and G. Kuhn, Electrical compensation processes in the nand p-type conductivity of the 1_{ST} 3_{RD} $5_{TH 2}$ Compounds, Crystal Resistance Technology, 16(1986)399-408.
- 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 speciments scanning electron microscopy.*, Surface Science, 42(1974)228-234.
- 26. H. H. Weidler. *Theoritical studies on optical* and electerical single crystal semiconduction materias, Solid State Electric, 9(1966)373-383.
- 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*"-*l*₂ *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.
- B. R. Sethi, M. Dashtiani, O. P. Sharma and P. C. Mathur, X-ray diffraction and conductivity studies in polycrystalline thin films of CuInTe₂ with excess copper content, Physics State Solid, A (1992) 13-19.
- M. Dashtiani, O. P. Sharma and B. R. Sethi, *Field effect studies on MIS structure of P-type CuInTe₂ 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.
- 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 CuInSe₂ and CuInTe₂ 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.
- M. Dashtiani, Studies structural properties on CuInTe₂/CdS solar cell, International Conference on Microwave and Opto-Electronic, ICMO, Orangabbad, India (2007)927-934.