



## ترابرد الکترونی و رسانندگی الکتریکی حاملین بار در تک بلورهای GaAs از نوع P در محدوده دمایی (۱۰۰-۴۰۰) درجه ی کلون

حسن خالقی<sup>\*۱</sup>

۱- مربی، گروه علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، سمنان، ایران

\*سمنان، صندوق پستی ۳۵۱۹۷-۵۵۷۷۸، پست الکترونیکی h.khaleghi@semnaniau.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>گالیوم آرسناید ترکیبی از عنصرهای گروه‌های III-V جدول تناوبی عناصر است. گالیوم آرسناید در ساختاری بلوری مشهور به zinc blende متبلور می‌شود. این ساختار به ساختار شبکه‌ی بلوری الماس بسیار شبیه است. از این نیمرسانای استفاده‌ی گسترده‌ای در تکنولوژی و ساخت قطعات نیمرسانا مانند مدارهای مجتمع، دیودهای مادون قرمز، دیودهای لیزری و سلول‌های خورشیدی می‌شود از این جهت مطالعه‌ی خواص آن حایز اهمیت است. در این مقاله رسانندگی الکتریکی نیمرسانای GaAs از نوع p مورد مطالعه قرار گرفته است. نمونه‌های تحت بررسی که شامل دو نمونه نیمرسانایی GaAs هستند به ترتیب با عناصر Fe و Cr آلیایده شده‌اند. این ناخالصی‌ها ناهمگنی زیادی را در شبکه‌ی GaAs به وجود می‌آورند و از این لحاظ مکانیزم پراکندگی خاصی را برای حاملین بار در GaAs ایجاد می‌کنند. در این کار تجربی رسانندگی الکتریکی حاملین در گستره‌ی دمایی (۱۰۰-۴۰۰) درجه‌ی کلون برای هر دو نمونه مذکور مورد بررسی قرار گرفته است.</p>	<p>مقاله پژوهشی کامل دریافت: ۱۸ دی ۱۳۹۶ پذیرش: ۳ اسفند ۱۳۹۶ ارائه در سایت: ۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۷</p>
	<p><b>کلیدواژگان</b> نیمرسانا رسانندگی الکتریکی ترابرد الکترونی</p>

## Electronic Transport and Electrical Conductivity of charge carriers in p-type GaAs monocrystals in the wide temperature range (100-400) K

Hassan khaleghi<sup>1</sup>

1- Department of Basic Sciences Group, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran.

\* P.O.B. 3519755778, Semnan, Iran, h.khaleghi@semnaniau.ac.ir

### Article Information

Original Research Paper  
Received 8 January 2018  
Accepted 22 February 2018  
Available Online 5 May 2018

### Keywords

Semiconductor  
electrical conductivity  
Electronic Transport

### ABSTRACT

Gallium arsenide is a compound of the elements gallium and arsenic. It is a III-V direct band gap semiconductor with a zinc blende crystal structure. GaAs is used in the manufacture of devices such as microwave frequency integrated circuits, monolithic microwave integrated circuits, infrared light-emitting diodes, laser diodes, solar cells and optical windows. From this view point, study of the electronic properties of GaAs single crystals is of prime importance. In this experimental work, electrical conductivity of two kinds of p-type GaAs samples each doped with Cr and Fe have been studied in the wide temperature range (100-400) K. Apart from temperature dependency of mobility of charge carriers also different predominant scattering mechanisms occurring in these crystals have been given.

Please cite this article using:

Hassan khaleghi, Electronic Transport and Electrical Conductivity of charge carriers in p-type GaAs monocrystals in the wide temperature range (100-400) K, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 9, No. 1, pp. 51-55, 2018 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

### ۱- مقدمه

یکی از ویژگی‌های جالب مواد نیمرسانا، که آنها را از مواد رسانا متمایز می‌کند، چگونگی تغییر رسانندگی الکتريکی آنها با تغییرات دما است. برخلاف رسانا، در نیمرسانا افزایش دما موجب افزایش رسانندگی الکتريکی نیمرسانا می‌شود.

برای توجیه پدیده ی رسانایی الکتريکی در جامدات، دیگر نظریه ی کلاسیک الکترون آزاد پاسخگو نیست و نظریه ی نواری، که مبتنی بر فیزیک کوانتوم است، برای تفسیر این پدیده استفاده می‌شود.

افزایش دما موجب افزایش مقاومت ویژه الکتريکی مواد رسانا می‌شود. علت این پدیده نیز افزایش تعداد و شدت برخورد الکترون‌های آزاد با اتم‌های در حال نوسان در جسم رسانا است. آزمایش نشان می‌دهد، برخلاف رسانا، در نیمرسانا افزایش دما موجب کاهش مقاومت ویژه الکتريکی نیمرسانا می‌شود. توجیه این پدیده در نیمرسانا تنها با استفاده از نظریه ی نواری امکان پذیر است [۱].

### ۲- رسانندگی الکتريکی نیمرساناها

رسانندگی الکتريکی نیمرساناها در اثر حرکت الکترون‌ها و حفره‌هایی که تحت نفوذ میدان الکتريکی اعمالی هستند، به وجود می‌آید. رسانندگی نیمرسانا به وسیله ی رابطه ی زیر داده می‌شود:

$$\frac{1}{\mu} \approx \frac{1}{\mu_L} + \frac{1}{\mu_I} \quad (2)$$

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_h = e(n_e \mu_e + n_h \mu_h) \quad (3)$$

که  $\mu_e, \mu_h$  به ترتیب تحرک پذیری الکترون و حفره و  $n_e, n_h$  به ترتیب چگالی الکترون و حفره است. برای یک نیمرسانای ذاتی،  $n_e = n_h = n_i$  بنابراین:

$$\sigma_i = n_i e (\mu_e + \mu_h) = n_i e \mu_h \left( \frac{\mu_e}{\mu_h} + 1 \right) \quad (4)$$

$$\sigma_i = \frac{e}{4\pi^3} \left( \frac{2\pi (m_e^* m_h^*)^2 k_B T}{\hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-E_g/2k_B T} \mu_h \left( \frac{\mu_e}{\mu_h} + 1 \right) \quad (5)$$

$\mu_h$  معمولاً دارای بستگی دمایی است به طوری که تغییرات دمایی  $T^{\frac{3}{2}}$  در کروهه ی معادله ی اخیر را خنثی می‌کند. از طرفی نسبت  $\mu_e$  به  $\mu_h$  دارای بستگی قوی به دما نیست به طوری که می‌توان از آن در برابر جمله ی نمایی صرف نظر کرد. در نتیجه بستگی دمایی فقط در جمله ی نمایی باقی می‌ماند. به طوری که می‌توان رابطه ی زیر را نوشت:

$$\sigma_i = Const \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{2k_B T}\right) \quad (6)$$

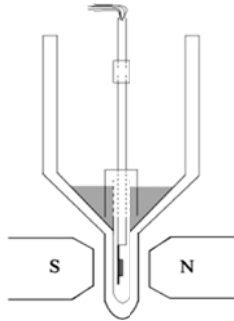
اگر در اثر آرایش نیمرسانا با ناخالصی، ناهمگنی زیادی در شبکه ی نیمرسانا به وجود آید نیمرسانا به یک نیمرسانای آمورف

در یک جامد، الکترونی که تحت تاثیر میدان الکتريکی حرکت می‌کند با اتم‌ها و با ساختار شبکه ی غیر ایده آل برهم کنش انجام می‌دهد. در نتیجه ی این برهم کنش بیشتر انرژی الکترون تلف می‌شود و این فرآیند مرتباً تکرار می‌گردد. این فرآیند برخورد به عنوان «پراکندگی» شناخته شده است.

پراکندگی تنها به برخورد مستقیم بین الکترون‌ها و یون‌ها نسبت داده نمی‌شود بلکه بیشتر به واسطه ی تغییر در توزیع‌های پتانسیل در جامد، هنگامی که ساختار بلور کاملاً دوره ای صحیح نیست، رخ می‌دهد. سه نوع مکانیزم پراکندگی وجود دارد: نخست پراکندگی شبکه ای که در دمای بالا حاکم است، دوم پراکندگی حاصل از اتم های ناخالص یونیده که در دمای پایین حاکم است و سوم پراکندگی ناشی از عیوب شبکه که نسبت به دو مورد ذکر شده دارای اهمیت کمتری است.

در یک بلور واقعی، این سه مکانیزم عمده ی پراکندگی به طور همزمان رخ می‌دهند. به طوری که سهم آنها نسبت به پراکندگی کل به شدت با دما و غلظت ناخالصی‌ها تغییر می‌کند. در این حالت تحرک پذیری کل حامل به تحرک پذیری پراکندگی‌های مختلف به صورت زیر ربط داده می‌شود:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_L} + \frac{1}{\mu_I} + \frac{1}{\mu_D} \quad (1)$$

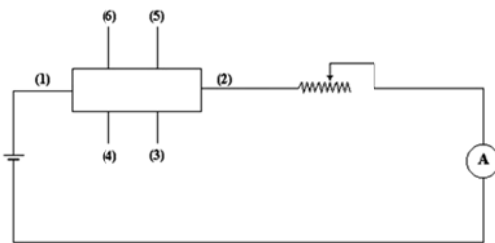


شکل ۲: زامپای شیشه‌ای دو جداره

نحوه‌ی تغییر دمای نمونه بدین صورت است که پس از نصب نمونه و قراردادن پروب در داخل زمپا، ابتدا مقدار کمی ازت مایع در مخزن زمپا می‌ریزیم. بلافاصله ترموکوپل کاهش دمای نمونه را نشان می‌دهد. ابتدا می‌توان با ریختن مقداری ازت خود نمونه را مستقیماً در معرض ازت مایع قرار داده سپس با عبور جریان‌های الکتریکی مختلف از گرمکن، می‌توان دمای نمونه را تغییر داده و وابستگی دمای تحرک پذیری نمونه را مورد مطالعه قرار داد. برای اندازه‌گیری پارامتر مذکور در دماهای بالاتر از دمای اتاق، مستقیماً از گرمکن برای بالا بردن دمای نمونه‌ها استفاده گردید [۳].

#### ۶- طریقه‌ی اندازه‌گیری رسانندگی

برای اندازه‌گیری رسانندگی الکتریکی باید ولتاژهای بین اتصالات را اندازه‌گیری کنیم. برای بدست آوردن رسانندگی الکتریکی  $\sigma$  جریان ثابتی از نمونه‌ها عبور می‌دهیم. برای این منظور از یک منبع تغذیه ۶ ولتی استفاده می‌شود. جریان عبوری از نمونه ۱۰mA می‌باشد. باید از مقدار جریان کوچک استفاده کرد تا خطای ناشی از گرم شدن نمونه در اثر عبور جریان بزرگ را نداشته باشیم. نمونه تهیه شده که در جای مناسب خود در سیستم زمپا نصب شده است و دارای ۶ اتصال است در مداري مطابق شکل ۳ قرار می‌گیرد.



شکل ۳: مداری که نمونه مورد بررسی در آن قرار می‌گیرد.

(بی‌شکل) تبدیل می‌شود. رسانش در نیمرساناهای آمورف با رابطه‌ی زیر به انرژی یونش ناخالصی و دما ارتباط می‌یابد:

$$\sigma_A = \sigma_0 \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T}\right) \quad (7)$$

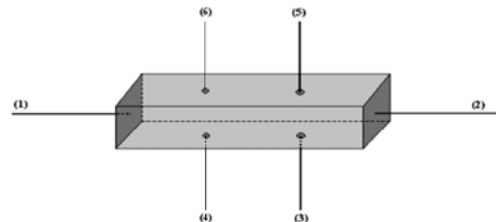
که  $\sigma_0$  رسانندگی در  $T \rightarrow \infty$  و  $E_a$  انرژی فعال‌سازی است [۲].

#### ۴- آماده سازی نمونه‌ها و دستگاه اندازه‌گیری

در این مقاله رسانندگی الکتریکی تک بلورهای GaAs مورد بررسی واقع شده است. این تک بلورها از نوع p هستند که با عناصر کروم و آهن آلائیده شده‌اند. تک بلورهای تحت بررسی به روش بریجمن تهیه و به صورت آماده از آکادمی علوم آذربایجان خریداری شده بودند. طول نمونه‌ها باید بیشتر از دو برابر عرض آنها باشد.

برای ایجاد اتصال راههای مختلفی وجود دارد. روشی که در این کار تجربی مورد استفاده قرار گرفت استفاده از فلز ایندیم و خمیر نقره بود.

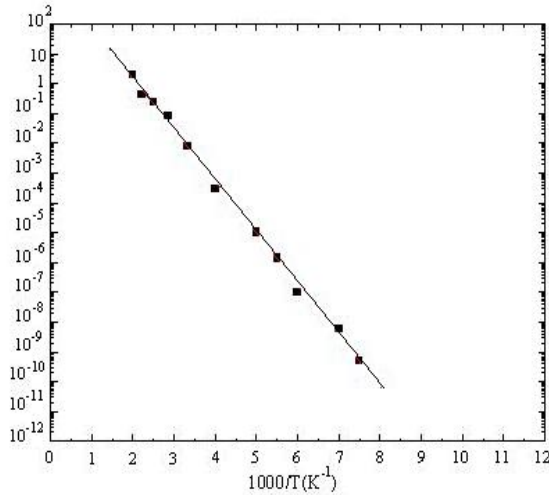
محل اتصالات در روی نمونه خیلی مهم هستند. مطابق شکل ۱ نقاط (۵) و (۶) باید بترتیب دقیقاً مقابل نقاط (۳) و (۴) قرار بگیرند.



شکل ۱: نمونه مورد بررسی با ۶ اتصال

#### ۵- اندازه‌گیری در دماهای پایین

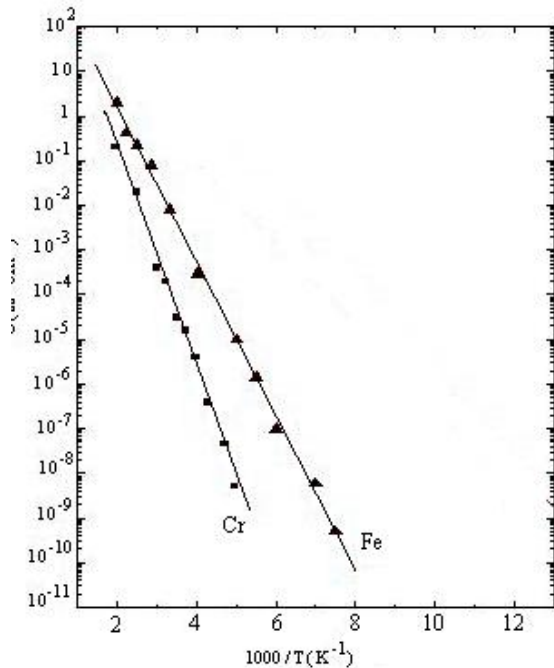
جهت تشخیص و تعیین مکانیزم‌های حاکم بر پارامترهای تراپردی مواد، نیاز به بررسی رفتار این کمیت‌ها در محدوده دمایی وسیعی است. بنابراین برای بررسی تحرک پذیری حاملین بار در نمونه‌ها از یک زامپای شیشه‌ای مطابق شکل ۲ استفاده گردید. در این پروژه، سیال سرد کننده ازت مایع است.



شکل ۵ نمودار تغییرات رسانندگی  $\sigma$  بر حسب  $\frac{1000}{T}$  برای نمونه‌ی

GaAs آلائیده با Fe

در فلزات با افزایش دما رسانش الکتریکی کاهش می‌یابد زیرا با افزایش دما تعداد حاملین در فلزات افزایش نمی‌یابد بلکه ارتعاشات شبکه‌ای زیاد می‌شود و این مسئله باعث پراکندگی بیشتر حاملین بار گشته و مقاومت فلز را افزایش می‌دهد [۴].



شکل ۶ نمودارهای تغییرات رسانندگی  $\sigma$  بر حسب  $\frac{1000}{T}$  برای دو

نمونه‌ی GaAs آلائیده با Cr و Fe

بعد از عبور جریان از نمونه اختلاف پتانسیل بین نقاط (۳)، (۴) و (۵)، (۶) را اندازه‌گیری می‌کنیم و میانگین آن را  $V_{\sigma}$  می‌نامیم.

رسانندگی الکتریکی نمونه طبق فرمول بندی زیر بدست می‌آید:

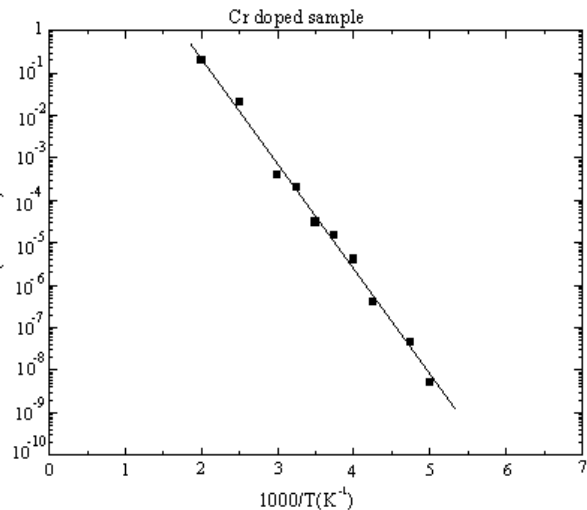
$$\sigma = \frac{I \cdot l}{V_{\sigma} \cdot s} \quad (۸)$$

$l$  فاصله دو اتصال (۳) ، (۴) و یا (۵) ، (۶) بوده و  $S$  سطح مقطع نمونه است. حال با داشتن مقدار  $I, V_{\sigma}$  که مقدار ثابتی است، می‌توانیم مقدار  $\sigma$  را محاسبه کنیم.

### ۷- نمودارها و تحلیل آن

در شکل ۴ و شکل ۵ به ترتیب منحنی‌های  $\sigma$  بر حسب  $\frac{1000}{T}$

برای نمونه‌های GaAs آلائیده با Cr و Fe رسم شده است. با توجه به منحنی‌ها درمی‌یابیم که با افزایش دما رسانندگی نمونه‌ها نیز افزایش یافته است. این موضوع به دلیل افزایش تعداد حاملین بار در اثر افزایش دما است و از مشخصه‌های اصلی نیمرساناها می‌باشد.



شکل ۴ نمودار تغییرات رسانندگی  $\sigma$  بر حسب  $\frac{1000}{T}$  برای نمونه‌ی

GaAs آلائیده با Cr

در شکل ۶ منحنی  $\sigma$  بر حسب  $\frac{1000}{T}$  برای هر دو نمونه رسم شده است. با مقایسه‌ی آنها درمی‌یابیم که رسانندگی نمونه‌ی آلییده با Fe از رسانندگی نمونه‌ی آلییده با Cr بیشتر است. این موضوع به دلیل ماهیت عناصر Fe و Cr می‌باشد به طوری که Cr بیشترین ناهمگنی را در شبکه GaAs به وجود می‌آورد در نتیجه باعث پراکندگی شدید حاملین بار شده و رسانندگی نمونه را کاهش می‌دهد.

۸- فهرست علائم

$n$	چگالی حاملین ( $\text{mol}^{-1}$ )
$k_B$	ثابت بولتزمن ( $\text{JK}^{-1}$ )
$E_g$	گاف انرژی (eV)
$T$	دما (K)

#### علائم یونانی

$\mu$	حرک پذیری حاملین ( $\text{m}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ )
$\sigma$	رسانندگی ویژه الکتریکی ( $\text{S m}^{-1}$ )

#### ۹- مراجع

- [1] Gupta, H.C, *Solid state physics*, p.247,1977.
- [2] L.Solymar, D.Walsh, *Electrical properties of materials*, 6<sup>th</sup> Edition, Oxford university press,1998.
- [3] H.Khaleghi, The Electrical Conductivity of charge carriers in Gallium Arsenide semiconductor doped with Cr and Co used in solar cell and optical fiber detectors, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 5, No. 3, 2016. (In Persian)
- [4] Hummel, Rolf, *Electronic properties of materials*, Springer, 2001.