فصلنامه

مهندسی مکانیک و ارتعاشات

jvibme.semnaniau.ac.ir

اندازه گیری ثابت هال در نیمرسانای گالیوم آرسنایدآلاییده با Cr وFe مورد استفاده در ساخت سنسورهای پیشرفته

حسن خالقی

مربی، گروه علوم پایه، **دانشگاه آزاد اسلامی**، سمنان، ایران

*سمنان، صندوق پستی 35197-55778، پست الکترونیکی h.khaleghi@semnaniau.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 19 تیر 1397

پذیرش: 20 شهریور 1397

ارائه در سایت: 15 آبان 1397

کلیدواژگان

نیمرسانا

ثابت هال

سنسورهای پیشرفته

چکیده

گالیوم آرسنایدترکیبی از عنصرهای گروه‌های III-V جدول تناوبی عناصر است. گالیوم آرسنایددر ساختاری بلوری مشهور به الماس گونه متبلور می‌شود. این ساختار به ساختار شبکه‌ی بلوری الماس بسیار شبیه است، اما در الماس فقط یک نوع اتم (کربن) وجود دارد در حالی که در این ماده هر موضع اتمی به تناوب توسط یکی از اتم‌های آرسنیک یا گالیوم اشغال می‌شود. از این نیمرسانای استفاده‌ی گسترده‌ای در تکنولوژی و ساخت قطعات نیمرسانا مانند مدارهای مجتمع، سنسورهای پیشرفته، دیودهای لیزری و سلول‌های خورشیدی می شود از این جهت مطالعه‌ی خواص آن حایز اهمیت است. در این مقاله ضریب ثابت هال نیمرسانای GaAs از نوع p مورد مطالعه قرار گرفته است. نمونه های تحت بررسی که شامل دو نمونه نیمرسانای GaAs هستند به ترتیب با عناصر Cr وFe آلاییده 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 ضریب ثابت هال در گستره‌ی دمایی (100-400) درجه‌ی کلوین برای هر دو نمونه مذکور مورد بررسی قرار گرفته است.

.

Hall Constant Measurement in Gallium Arsenide semiconductor doped with Cr and Fe used in advanced detectors

Hassan Khaleghi

1- Department of Basic Sciences Group, Semnan Branch, Islamic Azad University , Semnan, Iran.
* P.O.B. 123456789 Semnan, Iran, h.khaleghi@semnaniau.ac.ir

Article Information

Original Research Paper
Received: 10 July 2018
Accepted: 11 September 2018
Available Online 6 November 2018

Keywords
Semiconductor
hall constant
advanced detectors

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, advanced detectors, laser diodes, solar cells and optical windows. GaAs is often used as a substrate material for the epitaxial growth of other III-V semiconductors including: Indium gallium arsenide, aluminum gallium arsenide and others. From this view point, study of the electronic properties of GaAs single crystals is of prime importance. In this experimental work, hall Constant 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.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

Ali Asghar Binaieyan, Ehsan Jamshidi, Alireza Arghavan, Diagnosis of damage in gas transmission lines based on natural frequency changes through artificial neural networks, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 9, No. 3, pp. 50-55, 2018 (In Persian)

1- مقدمه

اثرهال یکی از پدیده‌های جالب توجه مبحث مغناطیسی است که در سال 1879 به وسیله ادوین هر برت هال کشف شد و اثر هال نامیده شد. زمانی که یک نیمرسانا یا رسانا که جریان الکتریکی از آن می‌گذرد در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، میدانی الکتریکی در جهت عمود بر جریان الکتریکی و میدان مغناطیسی در نمونه به وجود می‌آید. از این پدیده تحت عنوان اثر هال نام برده می‌شود. از این اثر برای مشخص کردن چگالی و نوع آلایندگی (n یا p) یک نیمرسانا و همچنین برای بدست آوردن ضریب رسانندگی الکتریکی و تحرک‌پذیری حاملین بار یک نیمرسانا یا رسانا و همچنین برای اندازه‌گیری میدان مغناطیسی استفاده می‌شود. خواص ترابرد الکترونی نظیر رسانش، اثر هال و اثرات ترمودینامیک در زمینه طراحی مواد از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند[1].

2- ثابت هال برای حامل‌های آزادِ بار

هنگامی که فقط یک نوع از حامل‌های بار رسانش الکتریکی ماده‌ای را تعیین کنند، مانند وضعیتی که در فلزها و نیمرساناهای دارای ناخالصی بالا برقرار است، ثابت هال می تواند از مقدار معکوس چگالی حامل های بار، n ، ضربدر بار یک حامل بار، q ، محاسبه شود:

$$R_H = \frac{1}{nq} \qquad (1)$$

نوع حامل بار را می توان از علامت جلوی ثابت هال شناسایی کرد. اگر ماده یک فلز باشد، حامل‌های بار الکترون خواهند بود، یعنی حامل‌هایی که «بار بنیادی» منفی را حمل می کنند. در نیمرساناها، بر حسب نوع ناخالصی‌های داده شده به آنها، مقدار ثابت هال می‌تواند مثبت (رسانش حفره ای) و یا منفی (رسانش الکترونی) باشد.

معمولاً چون نوع حامل‌های بار برای بسیاری از مواد شناخته شده است، عمدتاً اندازه‌گیری ثابت‌های هال با هدف تعیین چگالی حامل‌های جریان صورت می‌گیرد. این کمیت در غالب موارد به دما وابسته است. این وابستگی در نیمه رساناها بسیار شدید است. در نتیجه، تغییر در دما، خودِ ثابت هال را هم تغییر می‌دهد.

هر گاه در رسانش الکتریکی ماده‌ای دو نوع مختلف حامل‌های بار سهم داشته باشند، فرمول بالا کمی پیچیده‌تر خواهد شد. چنین وضعیتی در نیمرساناها اتفاق می افتد و در آنها، در کنار الکترون‌ها، حفره‌های دارای بار مثبت نیز حضور دارند[2].

3- ثابت هال برای الکترون‌های شبه‌آزاد

فلزات هم می توانند ثابت هالِ مثبت داشته باشند. یک نمونه‌ی آن آلومینیوم است که علیرغم این که فقط الکترون‌ها در رسانش آن نقش دارند، علامت ثابت هال آن مثبت است. این اثر نمی-تواند با فرض حامل‌های باری که آزادانه حرکت می‌کنند، تطبیق داشته باشد. در این مواد، محدودیت‌های ناشی از «ساختار باندهای انرژی» در مدارهای مجاز الکترونی نقش تعیین کننده بازی می‌کنند. تحت برخی شرایط ممکن است الکترون‌های رسانشی رفتاری حفره‌ای یا حفره‌سان پیدا کنند، به عبارت دیگر، آنها در برابر میدان مغناطیسی چنان واکنشی نشان می‌دهند که گویا دارنده‌ی بار مثبت می باشند[3].

اگر مقدار ثابت هال مثبت باشد، به معنی رسانایی حفره‌ها است، اما اگر این مقدار منفی باشد، عمدتاً الکترون‌ها رسانایی را بر عهده دارند.

4- اثر هال

وقتی میدان مغناطیسی B عمود بر امتداد جریان I در یک نیمرسانا برقرار شود، طبق قانون لورنتس از طرف میدان مغناطیسی نیرویی در امتداد قائم بر صفحه‌ی جریان و میدان مغناطیسی به حاملین بار وارد می‌شود. در واقع جریان عبوری به یک سمت کشیده شده و مقاومت نمونه افزایش می‌یابد(مقاومت مغناطیسی). این نیرو باعث می‌شود الکترون‌ها و حفره‌ها بر دو وجه نیمرسانا که موازی با صفحه‌ی شامل I و B هستند، تجمع کنند و اختلاف پتانسیلی بین دو صفحه به وجود بیاید. میدان الکتریکی ناشی از این اختلاف پتانسیل، نیرویی به حاملین بار در جهت مخالف با نیروی لورنتس وارد می‌کند. وقتی مقدار این اختلاف پتانسیل به مقدار ویژه‌ی V_H موسوم به ولتاژ هال رسید نیروی حاصل از این میدان، نیروی لورنتس وارد بر حاملین را خنثی می‌کند. در نتیجه دیگر حاملین بار منحرف نشده و در طول نیمرسانا به حرکت خود ادامه می‌دهند[4]. اگر t ضخامت نیمرسانا و p چگالی حفره‌ها باشد رابطه‌ی ولتاژ هال به صورت زیر خواهد بود:

$$V_H = \frac{1}{Pe}\frac{B.I}{t} \quad (2)$$

ضریب $\frac{1}{Pe}$ را با R_H نشان داده و به آن ضریب ثابت هال می‌گویند:

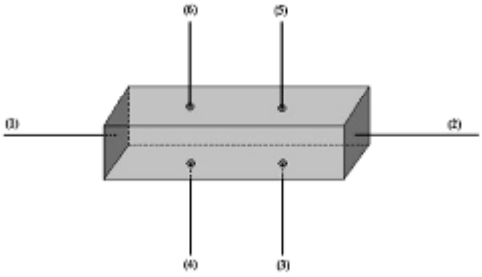
$$R_H = \frac{1}{Pe} = \frac{V_H.t}{B.I} \quad (3)$$

5-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 آلاییده شده‌اند. تک بلورهای تحت بررسی به روش بریجمن تهیه و به صورت آماده از آکادمی علوم آذربایجان خریداری شده بودند. پس از برش دادن تک بلورها با استفاده از الماس شیشه‌بری به قطعات کوچک‌تر، وجوه آنها را سمباده زده تا سطحی صاف و یکنواخت پیدا کنند. بعد از این کار نمونه هایی به ابعاد mm^3 (12×2/8×1/4) وmm^3 (14×2/7×1/1) آماده شد. طول نمونه‌ها باید بیشتر از دو برابر عرض آنها باشد. نمونه‌ها را بوسیله‌ی تمیز کننده‌ی ما فوق صوتی تمیز کرده و سپس برای سونش، آنها را داخل اسید نیتریک و اسید فلوریدریک قرار دادیم. پس از فرآیند سونش، نمونه‌ها با آب مقطر دوبار تقطیر شده، شستشو داده شده تا برای اتصال زدن آماده شوند.

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. نقطه‌ی ذوب فلز ایندیم 150 درجه‌ی سانتی‌گراد است. بنابراین برای دماهای پایین تر از150 درجه‌ی سانتی‌گراد از ماده‌ی ایندیم برای ایجاد اتصال استفاده شد و برای دماهای بالاتر از خمیر نقره استفاده گردید.

محل اتصالات در روی نمونه خیلی مهم هستند. مطابق شکل (1) نقاط (5) و (6) باید بترتیب دقیقاً مقابل نقاط (3) و(4) قرار بگیرید.

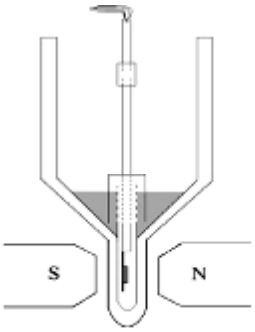


شکل1 نمونه مورد بررسی با 6 اتصال

5-1- اندازه‌گیری در دماهای پایین

جهت تشخیص و تعیین مکانیزم‌های حاکم بر پارامترهای ترابردی مواد، نیاز به بررسی رفتار این کمیت‌ها در محدوده دمایی وسیعی است. بنابراین اندازه‌گیری‌ها باید در یک زمپا[1] صورت گیرد. از آنجایی که در این پروژه، سیال سرد کننده ازت مایع می‌باشد حداکثر دمای قابل دسترسی در حوالی نقطه‌ی جوش آن یعنی $77\ K^0$ است. در بهترین شرایط که به معنی انتخاب ابعاد کوچکی از نمونه و حداقل افت سرمایی می‌باشد به طور عملی به دمایی برابر با $85\ K^0$ دست یافته‌ایم.

برای بررسی تحرک پذیری حاملین بار μ در نمونه‌ها از یک زامپای شیشه‌ای استفاده گردید. این زامپا از یک نوع شیشه که دارای ناخالصی مولیبدون ساخته شده است.



شکل2 زامپای شیشه ای دو جداره

چنانکه از شکل(2) ملاحظه می‌شود، قسمت بیرونی این زامپا دو جداره بوده و برای جلوگیری از تبخیر سریع ازت مایع که برای سرمایش نمونه مورد استفاده قرار می‌گیرد، هوای داخل آن تا فشار 5×10^{-6} تور تخلیه شده است. قسمت داخلی آن از

1.Cryostat

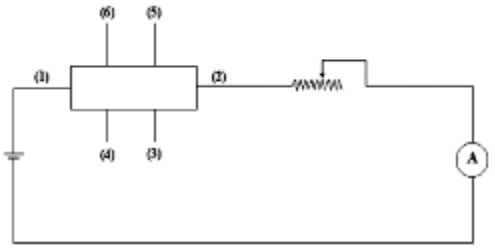
یک لوله شیشه‌ای به قطر 9 میلیمتر از همان جنس جهت قرار دادن پروب که حامل نمونه، گرمکن الکتریکی، ترموکوپل و سیم‌های اتصال می‌باشد، ساخته شده است.

برای ساخت گرمکن الکتریکی از لایه‌های نازک میکا و سیم تسمه‌ای کروم- نیکل استفاده گردید. مقاومت گرمکن برابر 8 اهم بوده و جریان‌های مختلفی تا 3 آمپر و یا بیشتر را می‌توان از آن عبور داد. با این وصف توان مصرفی گرمکن با عبور جریان سه آمپری 24 وات بوده و تا دمای حدود 500 کلوین یا بالاتر را می‌تواند برای بالا بردن دمای نمونه، تولید کند.

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. در این زمپا از ترموکوپل‌های مس-کنستانتن استفاده شده است. با ریختن ازت مایع، دمای نمونه را می توان تا دمای نزدیک به $85\ K^0$ پایین برد. 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 قرارداد. برای اندازه‌گیری پارامتر مذکور در دماهای بالاتر از دمای اتاق، مستقیماً از گرمکن برای بالا بردن دمای نمونه‌ها استفاده گردید[5].

2-5- طریقه‌ی اندازه‌گیری ضریب ثابت هال

برای اندازه‌گیری ضریب ثابت هال باید ولتاژهای بین اتصالات را با شرایط خاصی اندازه‌گیری کنیم. برای بدست آوردن ضریب ثابت هال جریان ثابتی از نمونه‌ها عبور می‌دهیم. برای این منظور از یک منبع تغذیه 6 ولتی استفاده می‌شود. جریان عبوری از نمونه 10mA می‌باشد. باید از مقدار جریان کوچک استفاده کرد تا خطای ناشی از گرم‌شدن 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 6 اتصال است در مداری مطابق شکل (3) قرار می‌گیرد.



شکل3 مداری که نمونه مورد بررسی در آن قرار می گیرد.

برای اندازه گیری ولتاژ هال، در حالی که نمونه در دمای ثابت است و از آن جریان معین I عبور می‌کند, میدان مغناطیسی B را برقرار می‌کنیم. در این حالت اختلاف پتانسیل بین سیم‌های (6)، (4) و (5)، (3) را با استفاده از گالوانومتر نوری اندازه‌گیری می‌کنیم. این ولتاژ را با V_{35}, V_{46} نمایش می‌دهیم. با معکوس کردن جهت جریان، ولتاژهای قبلی را دوباره اندازه‌گیری می‌کنیم و آنها را با V_{-35}, V_{-46} نشان می‌دهیم. با استفاده از مقدار میانگین خواهیم داشت:

$$V = \frac{V_{46} + V_{-46}}{2} \qquad (4)$$

$$V' = \frac{V_{35} + V_{-35}}{2} \qquad (5)$$

$$V_H = \frac{V + V'}{2} \qquad (6)$$

با مشخص شدن V_H می‌توانیم ضریب ثابت هال را با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه کنیم:

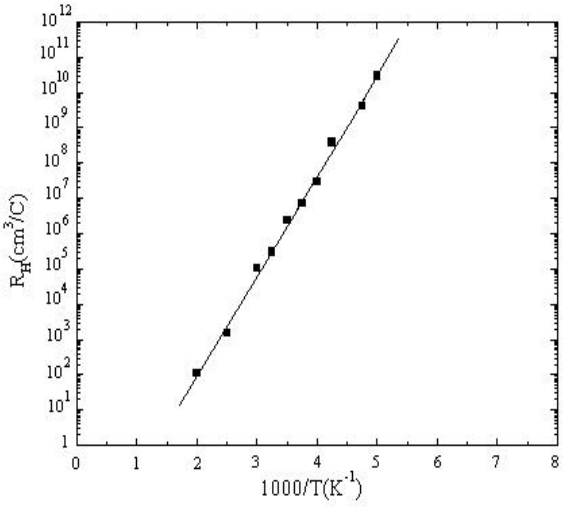
$$R_H = \frac{V_H \times b \times 10^8}{B \times I} \qquad (cm^3c^{-1}) \qquad (7)$$

که b ضخامت نمونه برحسب سانتی‌متر، B میدان مغناطیسی برحسب گوس، V_H ولتاژ هال برحسب میلی‌ولت و I جریان عبوری از نمونه برحسب میلی‌آمپر می‌باشد. با روشن کردن گرمکن و تغییر جریان عبوری از آن می‌توان دمای نمونه را تغییر داد و اندازه‌گیری‌ها را در دماهای مختلف تکرار کرد. برای اندازه‌گیری دما از یک ترموکوپل مس-کنستانتن که بر روی نمونه نصب شده است، استفاده می‌کنیم.

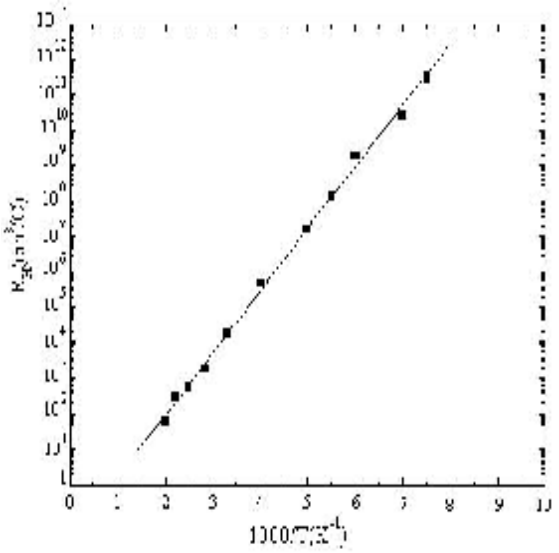
6- نمودارها و تحلیل آن

ضریب ثابت هال برای هر دو نمونه مورد مطالعه، در دماهای مختلف اندازه‌گیری شده است و نمودار تغییرات R_H برحسب

$\frac{1000}{T}$ در شکلهای (4) و (5) برای دو نمونه رسم گردیده است. این نمودارها نشان می‌دهند که با افزایش دما ضریب هال کاهش یافته است. با توجه به رابطه‌ی (3) و از آنجا که چگالی حاملها در یک نیمرسانا با افزایش دما افزایش می‌یابد، کاهش R_H با افزایش دما قابل فهم و توجیه می‌باشد.

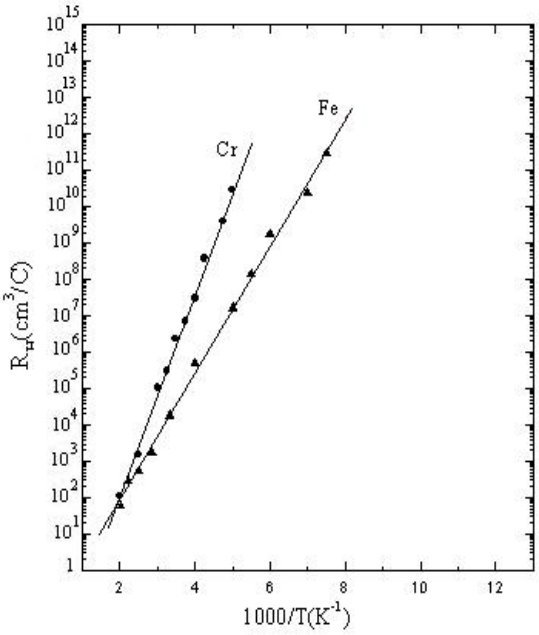


شکل 4 نمودار تغییرات رسانندگی s بر حسب $\frac{1000}{T}$ برای نمونه‌ی GaAs آلاییده با Cr



شکل 5 نمودار تغییرات رسانندگی s بر حسب $\frac{1000}{T}$ برای نمونه‌ی GaAs آلاییده با Fe

در شکل (6) منحنی‌ها R_H برحسب $\frac{1000}{T}$ برای هر دو نمونه جهت مقایسه رسم شده است. با مقایسه منحنی‌ها با یکدیگر درمی‌یابیم که در یک دمای معین ضریب هال برای نمونه آلائیده با Cr از ضریب هال نمونه دیگر بزرگتر است. این مسئله نشان می‌دهد در یک دمای معین چگالی حاملین در نمونه آلائیده با Cr نسبت به نمونه‌ی دیگر کوچکتر است که دلیلی بر بالا بودن مقاومت نمونه آلائیده با Cr می‌باشد.



شکل 6 نمودارهای تغییرات رسانندگی s برحسب $\frac{1000}{T}$ برای دو نمونه‌ی GaAs آلاییده با Cr و Fe

6- فهرست علائم

p و n	چگالی حاملین (mol^{-1})
B	میدان مغناطیسی(G)
V_H	ولتاژ هال (V)
R_H	ثابت هال(cm^3c^{-1})

7- مراجع

[1] C.Kittel, *Solid state physics*, 7th Edition, Wiley, New York, 1996.
[2] L.Solymar, D.Walsh, *Electrical properties of materials*, 6th Edition. Oxford university press,1998.
[3] R.H.Bube, *Electrons in solids*, Academic press, New York, 1992.
[4] Rolf.Hummel, *Electronic properties of materials*, Springer, p.179, 2001.
[5] H.Khaleghi, The study of the Mobility of charge carriers in Gallium Arsenide semiconductor doped with Cr and Co used in solar cell of space shuttles, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol.4, No.3, 2016. (In Persian)