

## Characterization and Fabrication of Multilayers of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ by Epitaxy

OSKOIE, M.

*Sharif University of Technology,  
Water and Energy Research Center*

Amini, A. - Tarkashvand, M.

*Atomic Energy Organization. Laser Research Center*

Anvari, F.

*Research Institute of Petroleum Industry - Tehran*

**Key Words :** *Liquid Phase Epitaxy, supercooled Liquid, substrate*

**Abstract:** Five layers of GaAs:Te( $n=2\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ),  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}: \text{Sn}$ ( $n=5\times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ), GaAs,  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}: \text{Ge}$ ( $p=3\times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ), GaAs: Ge( $p=1\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) were grown by supercooled Liquid Phase Epitaxy on n-GaAs(100) substrate. The cooling rate of the furnace was set up with  $0.1^\circ\text{C}/\text{min}$  at  $T=860^\circ\text{C}$ . The first layer was grown at  $T=840^\circ\text{C}$  and the last one at  $T=827^\circ\text{C}$ . The thickness were varied between 0.1 to  $8 \mu\text{m}$  by controlling the supercooling temperature and growth time. Quality and quantity of epitaxial layers were examined by TEM, SEM, PIXE and x-ray.

پژوهشی

## رشد برآرستی لایه‌های $\text{GaAs}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ و بررسی مشخصات آنها

مهدي اسکوئي

مرکز تحقیقات آب و انرژی دانشگاه صنعتی شریف - تهران

علیرضا امینی - مصطفی ترکاشوند

سازمان انرژی اتمی - مرکز تحقیقات لیزر - امیرآباد شمالی - تهران

سید فیض الله انواری

مرکز پژوهشگاه صنعت نفت - تهران - شرکت نفت - ری تهران

محل انجام آزمایشات: سازمان انرژی اتمی و مرکز تحقیقات آب و انرژی دانشگاه صنعتی شریف و مرکز پژوهش‌های صنعت نفت و انتیتو نیمسانای پکن

چکیده: رشد برآرستی<sup>۱</sup> پنج لایه ( $\text{GaAs:Te}(n=2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3})$ ) روی سطح  $\text{GaAs:Ge}(P=1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3})$  زیرلایه  $n\text{-GaAs}$  با فرایند فاز مایع ابر سرد<sup>۲</sup> از دمای  $840^{\circ}\text{C}$  آغاز و در  $T = 828^{\circ}\text{C}$  پایان یافت. ضخامت لایه‌ها  $1\text{ }\mu\text{m}$  تا  $8\text{ }\mu\text{m}$  بود و تغییرات ضخامت به انتخاب دمای رشد و طول زمان تماس فاز مایع با زیرلایه، و نیز به آهنگ تغییر دمای واکنشگر بستگی داشت. درصد وزنی مواد در فاز مایع و نیز ناخالصی‌های نوع Sn، Te، و Ge از منحنی فاز آنها محاسبه شدند و با استفاده از روش‌های SEM، TEM، PIXE، و پرتو X مشخصات لایه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: رشد برآرستی، فاز مایع ابر سرد، منحنی فاز، زیرلایه

1- Epitaxy

2- Supercooled Liquid Phase

3- Proton induced X-ray Emission

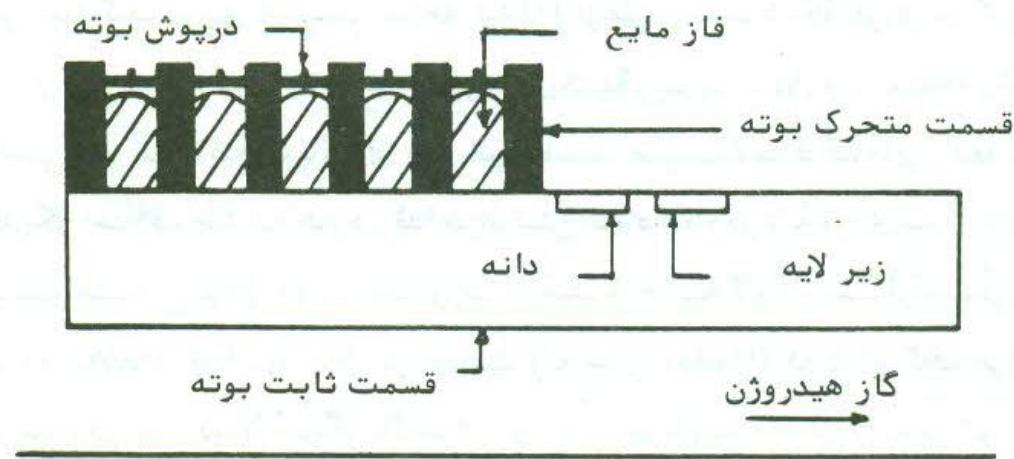
## مقدمه

ساختار اصلی قطعات الکترونیکی از لایه های متعدد نیمرسانای نوع n و p تشکیل یافته اند [۱]. به این دلیل انتخاب روش لایه گذاری از اهمیت به سزا بی بروخوردار است. رشد برآراستی از فاز مایع، یکی از روشهایی است که امروزه به دلیل هزینه ساخت کمتر و نیز کارآیی بالاتر آن نسبت به سایر فرایندها از اهمیت چشمگیری بروخوردار است. اساس کار براین محور استوار است که نخست مواد مورد نظر در بوتئه گرافیتی ذوب شده و سپس در دمای مناسب با زیر لایه تماس داده می شود. با کنترل آهنگ کاهش دمای فاز مایع و انتخاب زیر لایه مناسب می توان ساختار بلوری لایه برآراسته را با ساختار بلوری زیر لایه کاملاً یکسان کرد [۲] که در اینصورت به آن "رشد برآراستی" می گویند. لایه گذاری از فاز مایع معمولاً برای ضخامت های بالاتر از یک دهم میکرون مورد استفاده قرار می گیرد [۳] و در صورتیکه به ضخامت های کمتری نیاز باشد از سایر روشهای استفاده می شود [۴]. در چند سال اخیر گزارشات متعددی منتشر شده است [۵] که نشان می دهد با استفاده از فاز مایع می توان به ضخامت های کمتر از دویست انگستروم نیز رسید.

نیمرسانای گالیوم آرسناید (GaAs) و ترکیبات آن مانند آلومینیوم گالیوم آرسناید ( $Al_xGa_{1-x}As$ ) در ساخت انواع قطعات الکترونیکی [۶] مانند لیزر های نیمرسانا کاربرد فراوانی دارند [۷]. گاف انرژی در  $Al_xGa_{1-x}As$  به مقدار  $x$  بستگی دارد و هر چه مقدار  $x$  بیشتر باشد گاف انرژی آن بیشتر خواهد شد [۸]. از طرفی ثابت شبکه بلوری در گالیوم آرسناید و آلومینیوم گالیوم آرسناید تقریباً بایکدیگر برابرند [۹] و در نتیجه رشد برآراستی در آنها باکیفیت بالاتری قابل انجام است. ضریب انبساط گرمایی آنها نیز بایکدیگر اختلاف چندانی ندارد و لذا میزان تنش ایجاد شده در لایه مرزی بسیار ناچیز خواهد بود [۱۰]. در صورت تشکیل سه لایه برآراستی از  $Al_xGa_{1-x}As/GaAs/Al_xGa_{1-x}As$  در حقیقت لایه میانی (GaAs) که دارای گاف انرژی کمتر است در میان دو لایه دیگر با گاف انرژی بیشتر ساندویچ می شود. بدین ترتیب می توان چگالی ناخالصی در لایه میانی را به میزان مورد نظر افزایش داد، و با توجه به سد پتانسیل در دو طرف لایه  $GaAs$  بار الکتریکی در آن کاملاً محصور می شود [۱۱].

### روش رشد برآراستی از فاز مایع

زیر لایه‌ای از تک بلور  $n\text{-GaAs}$  که سطح (۱۰۰) آن کاملاً صیقل داده شده است، در ابعاد  $۴\text{ cm} \times ۱\text{ cm} \times ۰.۲\text{ mm}$  میلیمتر آماده می‌شود. مواد مورد نیاز مطابق جدول شماره ۱ توزین شده، پس از فرایند سونش شیمیایی روی هریک از آنها در زمان مناسبی در بوته گرافیتی ریخته می‌شوند. از گالیوم که در دمای اطاق به صورت مایع است، به عنوان حلal استفاده می‌شود و از این رو با توجه به حجم خانه‌های بوته فقط به ۷ را گرم گالیوم نیاز داریم. بوته همراه با گالیوم به درون واکنشگر منتقل شده مطابق شکل ۱ در مجاورت گاز هیدروژن با خلوص ۹۹.۹۹٪ گرما داده می‌شود تا ناخالصی‌های احتمالی از محیط خارج شود. افزایش زمان گرما دهی به مدت طولانی نه تنها کمک موثری در کاهش ناخالصی نخواهد کرد بلکه باعث افزایش آن می‌شود [۱۲]. سپس بوته به داخل اطاقک متصل به واکنشگر که با گاز آرگون محافظت می‌شود هدایت شده تا مواد مورد نظر مطابق جدول شماره ۱ به آن اضافه شود. بوته برای بار دوم به داخل واکنشگر منتقل می‌شود تا در شرایط  $90^{\circ}\text{C}$  و عبور مداوم گاز هیدروژن به مدت یک ساعت به آن گرما داده شود. دما به  $86^{\circ}\text{C}$  کاهش می‌یابد و پس از ۴۵ دقیقه قسمت متحرک بوته گرافیتی حرکت داده



شکل ۱ مشخصات بوته گرافیتی همراه با زیر لایه و دانه که داخل واکنشگر قرار گرفته است.

می شود تا فاز مایع خانه شماره ۱ بوته به روی دانه<sup>۱</sup> برسد. دانه که از گالیوم آرسناید بدون ناخالصی است به این منظور در نظر گرفته شده است تا با ذوب برگشتی از دانه به داخل فاز مایع، مقدار ارسنیک از دست رفته در طول زمان گرمایشی جبران شود[۱۳]. دمای واکنشگر با کنترل کننده‌ای با شیب  $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$  در دقیقه کاهش می‌یابد و در دمای  $840^{\circ}\text{C}$  اولین فاز مایع مربوط به خانه شماره ۱ بوته روی زیر لایه می‌رسد. بنابراین دمای  $T=840^{\circ}\text{C}$  رشد لایه اول از  $\text{GaAs:Te}$  روی زیر لایه در  $T=840^{\circ}\text{C}$  انجام می‌شود. با حرکت دادن قسمت متحرک بوته به ترتیب خانه‌های شماره ۱ الی ۵ در دماهای معینی روی زیر لایه خواهد رسید و پنج لایه برآرسته بوجود می‌آید. داشتن اطلاعات دقیق از منحنی فاز دوتائی گالیوم آرسناید و فاز سه تائی آلومینیوم گالیوم آرسناید و کنترل آهنگ کاهش دمای واکنشگر از شرایط اساسی برای لایه گذاری برآرستی و نیز یکنواختی ضخامت لایه‌هاست.

### محاسبه مقادیر وزنی عناصر با استفاده از منحنی فاز

چنانکه گفته شد، گالیوم به عنوان حلال مورد استفاده قرار گرفت، و عناصر دیگر براساس مقدار یک گرم از گالیوم محاسبه شد. در صورتیکه ابعاد بوته گرافیتی تغییر کند می‌توان از مقادیر بیشتر و یا کمتر گالیوم استفاده کرد. لذا نخست محاسبات براساس یک گرم گالیوم انجام شد، و سپس برای تهیه جدول شماره ۱ در ضریب ۷/۱ ضرب شدند. در صورتیکه جرم مولی عناصر را با  $M_i$  و جرم مورد نیاز برای فاز مایع را با  $W_i$  نشان

دهیم نسبت مولی عناصر  $N_i$  برابر خواهد بود با:

$$N_i = \frac{W_i}{M_i} \quad (1)$$

چنانچه فاز مایع شامل  $n$  عنصر مختلف باشد، درصد وزنی هر کدام از عناصر ( $X_i$ ) برابراست با:

$$X_i = \frac{N_i}{N_1 + \dots + N_n} \quad (2)$$

باتوجه به مطالب بالا مقدار وزنی برای عناصر موجود در فاز مایع خانه اول بوته را می‌توان به شرح زیر محاسبه کرد:

$$N_{Ga}(\text{حلال}) = \frac{W_{Ga}}{M_{Ga}}$$

$$\text{مول } 10^{-2} \times 143 \times 10^{-2} = 143 \times 10^{-4} \text{ مول} = (\text{حلال})$$

$$X_{As} = \frac{N_{As}}{N_{Ga}(\text{حلال}) + N_{Ga} + N_{As}} \quad (3)$$

می‌دانیم که:

$$N_{GaAs} = N_{As} = N_{Ga}$$

لذا معادله (3) به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$N_{As} = \left( \frac{1 - 2X_{As}}{X_{As}} \right) N_{Ga}(\text{حلال}) \quad (4)$$

مقدار  $X_{As}$  از منحنی فاز گالیوم - آرسنیک که بر حسب دماهای مختلف مدرج شده است اندازه‌گیری می‌شود [۱۴]. در دمای  $T = 840^\circ\text{C}$  مقدار آن برابر است با:

$$X_{As} = 3 \times 10^{-2}$$

بنابراین مقدار معادله ۴ به صورت زیر در می‌آید:

$$N_{As} = \left( \frac{3 \times 10^{-2}}{1 - 2 \times 3 \times 10^{-2}} \right) (143 \times 10^{-4})$$

$$= 4.903 \times 10^{-4} \text{ مول}$$

مقدار گالیوم آرسناید جامد که شامل این مقدار آرسنیک باشد برابر است با:

$$W_{GaAs} = N_{As} M_{GaAs}$$

$$= ۴۹۰۳ \times 10^{-4} \times ۱۴۴۶۴$$

$$= ۷۰۹ \text{ میلی گرم}$$

برای تعیین مقدار Te از منحنی فاز درصد وزنی تلویز در فاز مایع گالیوم آرسناید که  
بر حسب چگالی ناخالصی و دما مشخص شده بود استفاده شد [۱۵].

برای چگالی ناخالصی  $n = ۲ \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  و دمای  $840^\circ\text{C}$  مقدار درصد وزنی Te

برابر است با:

$$X_{\text{Te}} = ۲ \times 10^{-5}$$

$$\begin{aligned} N_{\text{Te}} &= X_{\text{Te}} (N_{\text{Ga}} + ۲N_{\text{As}}) \\ &= ۲ \times 10^{-5} (۱۴۳۴ \times 10^{-2} + ۲ \times ۴۹۰۳ \times 10^{-4}) \\ &= ۳۰۶۴ \times 10^{-7} \text{ مول} \end{aligned}$$

لذا مقدار Te لازم برابر خواهد بود با:

$$\begin{aligned} W_{\text{Te}} &= N_{\text{Te}} M_{\text{Te}} \\ &= ۳۰۶۴ \times 10^{-7} \times ۱۲۷ \times ۶ \\ &= ۰۴۰۶ \text{ میلی گرم} \end{aligned}$$

خانه دوم بوته گرافیتی شامل مواد (حلال) Ga+GaAs(s)+Al(s)+Sn(s) بود که مقدار Sn در آن به صورت زیر محاسبه شد:

$$X_{\text{Sn}} = \frac{N_{\text{Sn}}}{N_{\text{Ga}} + ۲N_{\text{As}} + N_{\text{Sn}} + N_{\text{Al}}} \quad (5)$$

باقطوجه به اینکه مقدار (حلال)  $N_{\text{Ga}}$  در معادله بالا در مقایسه با مقادیر دیگر مخرج کسر بسیار بزرگ است با تقریب نسبتاً خوبی می‌توان نوشت:

$$N_{\text{Sn}} = X_{\text{Sn}} N_{\text{Ga}} \quad (6)$$

مقدار  $X_{\text{Sn}}$  از منحنی فاز [۱۶] درصد وزنی قلع در فاز سه‌تایی آلومینیوم گالیوم آرسناید که بر حسب دما و چگالی ناخالصی مدرج شده است برای  $n = ۳ \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  و دمای

$834^{\circ}\text{C}$  برابر است با:

$$X_{\text{Sn}} = 0.2$$

بنابراین از معادله ۶ داریم:

$$\begin{aligned} N_{\text{Sn}} &= 0.2 \times 1.434 \times 10^{-2} \\ &= 2.868 \times 10^{-3} \text{ مول} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{Sn}} &= N_{\text{Sn}} M_{\text{Sn}} \\ &= 2.868 \times 118 \times 10^{-3} \\ &= 34 \text{ میلی گرم} \end{aligned}$$

مقدار ارسنیک مورد نیاز خانه دوم بوته با استفاده از گالیوم آرسناید جامد بدست می‌آید:

$$X_{\text{As}} = \frac{N_{\text{As}}}{N_{\text{Ga}}(\text{حلال}) + 2N_{\text{As}} + N_{\text{Sn}}}$$

$$\begin{aligned} N_{\text{As}} &= \frac{X_{\text{As}} (N_{\text{Ga}}(\text{حلال}) + N_{\text{Sn}})}{1 - 2X_{\text{As}}} \\ &= 3.585 \times 10^{-4} \text{ مول} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{GaAs}} &= N_{\text{As}} M_{\text{GaAs}} \\ &= 3.585 \times 10^{-4} \\ &= 52 \text{ میلی گرم} \end{aligned}$$

در صد وزنی آلومینیوم ( $X_{\text{Al}}$ ) برای تشکیل لایه  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  در دمای رشد این لایه ( $T = 834^{\circ}\text{C}$ ) از منحنی فاز سه‌تایی آلومینیوم گالیوم آرسناید [۱۷] برابر  $2.2 \times 10^{-3}$  استخراج شده است. بنابراین جرم آلومینیوم برابر خواهد بود با:

$$\begin{aligned} N_{\text{Al}} &= X_{\text{Al}} (N_{\text{Ga}}(\text{حلال}) + 2N_{\text{As}} + N_{\text{Sn}}) \\ &= 2.2 \times 10^{-3} (1.434 \times 10^{-2} + 2 \times 3.585 \times 10^{-4} + 2.868 \times 10^{-3}) \\ &= 5.6 \times 10^{-5} \text{ مول} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{Al}} &= N_{\text{Al}} M_{\text{Al}} \\ &= 5.6 \times 10^{-5} \times 26.98 \\ &= 15 \text{ میلی گرم} \end{aligned}$$

جدول ۱ جرم عناصر و مواد در هر یک از پنج خانه بوتۀ گرافیتی.

شماره	Ga	GaAs	Al	Te	Sn	Ge	Si
	g	mg	mg	mg	mg	mg	mg
۱	۱۷	۱۲۰		۰۶			
۲	۱۷	۸۸۴	۲۵۵		۵۷۸		
۳	۱۷	۱۱۲۵					
۴	۱۷	۷۳	۲۲			۱۷	
۵	۱۷	۱۰۰				۴۴	

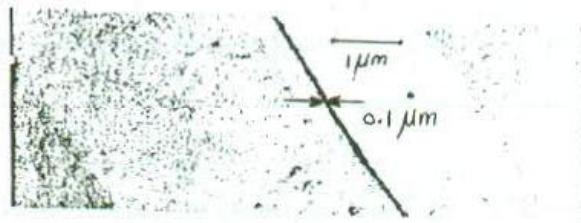
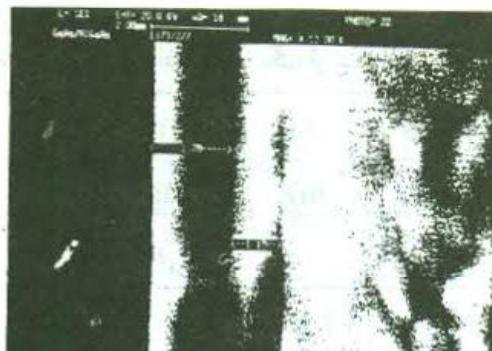
به همین ترتیب می‌توان مقدار وزنی مورد نیاز در فاز مایع را برای سه خانه دیگر از بوتۀ محاسبه کرد که در جدول شماره ۱ دیده می‌شود

#### تعیین مشخصات کمی و کیفی لایه‌ها

پس از خارج کردن زیر لایه از واکنشگر، ضخامت لایه‌ها با میکروسکوپ نوری اندازه‌گیری می‌شود. بجز لایه سوم که به علت نازک بودن آن (حدود ۱۰ میکرون) دیده نمی‌شد، بقیه لایه‌ها کاملاً قابل رویت بودند. از میکروسکوپ الکترونی برای بررسی یکنواختی و اندازه‌گیری ضخامت لایه‌ها نیز استفاده شد که نشان داد لایه گذاری با کیفیت خوبی در قسمتهای مختلف زیر لایه به وجود آمده ولی ضخامت لایه میانی هنوز قابل رویت نبود (شکل ۲).

شکل ۳ عناصر تشکیل دهنده در لایه اول را نشان می‌دهد که با پرتو X حاصل از پراش پرتو الکترونی به دست آمده است. آزمایشات حاصل از PIXE اطلاعات دریافت شده با میکروسکوپ الکترونی را تائید می‌کند. آزمایش TEM برای بررسی لایه میانی  $\text{GaAs}$  با ضخامت ۲۰ میکرون و میزان Al در فاز سه‌تایی آلومینیوم گالیوم آرسناید همراه با عدم جفت و جوری شبکه<sup>۱</sup> از سوی انسٹیتو نیمرسانی پکن انجام گرفت.

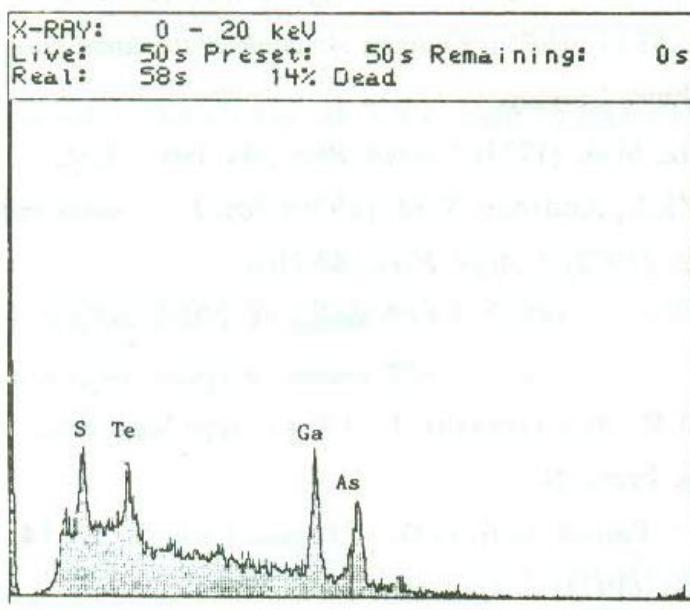
1- Lattice mismatch



شکل ۲ (الف) ضخامت لایه پنجم و چهارم با استفاده از میکروسکوپ الکترونی ۷۱ و ۱۱ میکرون و (ب) ضخامت لایه سوم (GaAs) برابر ۲ رم میکرون که با TEM اندازه گیری شده است.

## نتیجه

با اینکه رشد برآستی از فاز مایع یکی از ساده‌ترین فرایندهای موجود برای لایه‌گذاری برآستی در نیمرساناهاست، ولی عدم شناخت خواص مواد موجود در فاز مایع با تغییرات دما امکان استفاده از آنرا نخواهد داد. انتخاب آهنگ کاهش دما به میزان یک دهم درجه سانتیگراد در دقیقه در زمان لایه‌گذاری  $\text{GaAs}$  و  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  باعث می‌شود تا لایه‌ها با یکنواختی بسیار خوبی به وجود آیند. از طرفی کنترل ضخامت لایه‌ها به دمای تماس و طول زمان قرارگیری فاز مایع روی زیر لایه و نیز به میزان غلظت، ترکیبات موجود در فاز مایع بستگی دارد [۱۸]. کنترل میزان چگالی ناخالصی  $\text{Ge}, \text{Sn}, \text{Te}$  با آگاهی از مقدار ضریب توزیع آنها انجام شده است [۱۹]. قلع که به عنوان ناخالصی نوع  $n$  مورد استفاده قرار گرفت و با داشتن ضریب توزیع کم آن ( $k^4 \approx 10^{-4}$ )، ناخالصی در لایه برآسته را می‌توان حد اکثر تا  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  رساند. به عبارت دیگر با افزایش درصد



شکل ۳ عناصر موجود در لایه شماره ۱ که با پرتو X از میکروسکوپ الکترونی تعیین شده است.

وزنی بیشتر از این عنصر، چگالی ناخالصی نوع n افزایش نخواهد یافت [۲۰]. برای افزایش ناخالصی نوع n در گالیوم آرسناید از Te که دارای ضریب توزیع بیشتری است ( $k \approx 1$ ) استفاده می‌شود و حداقل ناخالصی تا  $7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  قابل حصول خواهد بود [۲۱]. آزمایش‌های گوناگونی که روی نمونه‌ها انجام گرفت نشان داد که این لایه گذاری برآرستی با کیفیت خوبی انجام شده است.

## مراجع

- 1 - Sze, S.M. (1988) "Phys of Semiconducto Devices" John Wiley, New York.
- 2 - Matthews, J.W. (1975) "Epitaxial Growth" Academic Press, New York.
- 3 - Moon, R.L. (1974) *J. Cryst Growth*, **27**, 62.
- 4 - Howes, M.J. (1986) "Gallium Arsenide" John Wiley, New York.
- 5 - Rezek, E.A. (1977) *Appl. Phys. Lett.*, **31**, 534.
- 6 - Shur, M. (1987) "GaAs Devices and Circuits", Plenum Press, Mew York.
- 7 - Nakano, Y. (1988) *IEEE J. Quantum Electronic*, **24**, 10.

- 8 - Sell, D., and Casey, H.C. (1974) *J. Appl. Phys.*, **45**, 2650.
- 9 - Driscoll, C.M.H.(1975) "Gallium Arsenide and related compounds", P.275  
Inst. of Phys. London, .
- 10 - Afromowitz, M.A. (1973) *J. Appl. Phys.*, **44**, No 7 1292.
- 11 - Alferov, Zh.I., Andreev. V.M. (1970) *Sov. Phys. Semiconductors*, **4** No.3,  
Pinkas, E. (1972) *J. Appl. Phys.*, **43** No.6.
- ۱۲- مراجعه شود به مرجع شماره ۱۷ صفحه ۱۲۴
- ۱۳- مراجعه شود به مرجع شماره ۱۷ صفحه ۱۲۳
- 14 - Panish, M.B., and Hayashi, I. (1974) "Appl Solid State Science", **4**, 235  
Academic Press. New York.
- 15 - Casey, H.C., Panish, M.B. (1972) *J.Crystal Growth.*, **13-14**, 818.
- 16 - Panish, M.B. (1973) *J. Appl. Phys.*, **44**, 2659.
- 17 - Casey, H.C., and Panish, M.B. (1978) "Heterostrusture Lasers" Part B. Page  
91 Academic Press, New York.
- 18 - Hsieh, J.J. (1974) *J. Cryst. Growth.*, **27**, 49.
- 19 - Panjish, M.B.,(1973) *J. Appl. Phys.*, **44**, 2667.
- 20 - Panish, M. (1973) *J. Appl. Phys.*, **44**, 2659.
- 21 - Casey, H.C., and Panish, M.B. (1971) *J. Phys. Chem. Solids*, **32**, 571.