

Article Arrival Date

21.04.2025

Article Type

Research Article

Article Published Date

20.06.2025

TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE THRESHOLD CURRENT OF GaAs LASERS

GaAs LAZERLƏRİNİN HÜDUD CƏRƏYANININ TEMPERATUR ASILILIĞI

Qardaşbəyova Nailə Adəm, Quliyeva Adilə, S.Həsənova-Abdullayeva

Naxçıvan Dövlət Universi, Orchid ID [0000-0002-0191-9428](#)

Summary

At small values of the direct current, spontaneous emission is observed in p-n junctions in all directions. The intensity of light and the width of the spectral curve of the emission depend on the value of the current. As the current increases, the amplification factor of the emission increases. When the current increases to a certain value, the laser effect occurs, that is, the emission becomes coherent. This minimum value of the current corresponding to the onset of coherent generation at the junction is called the threshold current. The article shows that the threshold current density in alloy-doped lasers is approximately three times smaller than the threshold current density of lasers obtained by diffusion at room temperature.

200

Keywords: Electron, spontaneous emission, generation, laser, injection, semiconductor, thermodynamics, recombination

Açar sözlər: elektron, spontan şüalanma, generasiya, lazer, injeksiya, yarımkəçirici, termodinamik, rekombinasiya

Xülasə

Düzünə cərəyanın kiçik qiymətlərində bütün istiqamətlərdə p-n keçidlərdə spontan şüalanma müşahidə edilir. İşığın intensivliyi və şüalanmanın spektral əyrisinin eni cərəyanın qiymətindən asılıdır. Cərəyan artdıqca şüalanmanın güclənmə əmsalı böyüyür. Cərəyan müəyyən qiymətə qədər artdıqda lazer effekti baş verir, yəni şüalanma koherent olur. Keçiddə koherent generasiyanın başlanmasına uyğun gələn cərəyanın bu minimal qiyməti hədd cərəyanı adlanır. Məqalədə ərintidən gözərtilmiş lazerlərdə hədd cərəyanının sıxlığı otaq temperaturunda diffuziya yolu ilə alınmış lazerlərin hədd cərəyanının sıxlığından təxminən üç dəfə kiçik olduğu göstərilmişdir.

Yarımkeçiricilərdə daşıyıcıların invers paylanması yaratmaq üçün ən effektiv və idarəolunan üsul onları p-n keçidlərdən injeksiya etməkdir. Məlumdur ki p-n keçidləri düz istiqamətdə gərginlik tətbiq etsək injeksiya hadisəsi baş verir:elektronlar ,p-oblasta dəşiklər, isə n-oblasta axır.p-n keçidlərin yaxınlığında bir neçə mikron tərtibli məsafədə termodinamik tarazlıq pozulur. İnvers paylanma baş verir. Aktiv mühit yaranır. Sistem mənfi temperaturlu hala keçir.

Yarımkeçiricidə tarazsız elektron və dəşiklərin sərbəst enerjilərinin cəmi ΔE_g -dən böyük olduqda invers paylanma yaranır. Başqa sözlə tarazsız elektron və dəşiklər üçün kvazi-Fermi səviyyələri aşağıdakı şərti ödəməkdir:

$$E_{Fn} + E_{Fp} > \Delta E_g$$

Aşqarsız yarımkeçiricidə kimyəvi potensialın səviyyəsi təxminən yasaq zolağın ortasında yerləşir və $E_{Fn} + E_{Fp} = \Delta E_g$ olur. Buna görə də mənfi temperatur halının yaranma şərti o deməkdir ki heç olmasa ya $E_{Fn} > \frac{\Delta E_g}{2}$,ya da $E_{Fp} > \frac{\Delta E_g}{2}$ olmalıdır, yəni bu səviyyələrdən biri uyğun olaraq keçirici C- və yaxud valent V-zolaqları daxilində yerləşməlidir. Başqa sözlə ya elektronlar ya da dəşiklər cırlaşmış halda olmalıdır. Lazerlərdə təcrübə olaraq hər iki oblast kifayət qədər güclü cırlaşmalıdır.

201

Elektron və dəşiyin rekombinasiyası zamanı zərbəst elektron C-zolağından V-zolağına keçir və boş yeri doldurur. C-zolağındakı elektronun həyəcanlanma enerjisi işıq kvantı şəklində şüalana bilər. Bu rekombinasiya şüalanması öz-özünə (spontan) və ya məcburi baş verə bilər. Mənfi udulma əmsallı mühitdə məcburi keçidlər spontan şüalanmanı gücləndirəcəkdir. Yarımkeçirici diodun yan səthlərini yaxşı əksətdirici etməklə (bu işığın mühitdən dəfələrlə keçməsi üçün edilir)bu güclənməni artırmaq olar. Düzünə cərəyanın kiçik qiymətlərində bütün istiqamətlərdə p-n keçidlərdə spontan şüalanma müşahidə edilir. Işığın intensivliyi və şüalanmanın spektral əyrisinin eni cərəyanın qiymətindən asılıdır. Cərəyan artdıqca şüalanmanın güclənmə əmsalı böyüyür. Cərəyan müəyyən qiymətə qədər artdıqda lazer effekti baş verir,yəni şüalanma koherent olur. Keçiddə koherent generasiyanın başlanmasına uyğun gələn cərəyanın bu minimal qiyməti hədd cərəyanı adlanır. p-n keçiddən axan cərəyan $I < I_{hüd}$ olduqda şüalanma spontan və qeyri- koherentdir. $I > I_{hüd}$ şüalanma koherentdir. Şüalanmanın koherentliyi hər bir rekombinasiya aktı düşən ilkin işıq dalğası ilə məcburən buraxılan dalğanın fazaca eyniliyini göstərir. Belə koherent generasiya zamanı ilkin və əks olunan dalğaların fazaları hər bir nöqtədə eyni olmalıdır və ya dövrün tam sayı qədər fərqlənməlidir. Bunun

nəticəsidir ki lazerlərin köməyi ilə minimal aralanma bucağına malik çox nazik şüa dəstəsi almaq olar.[5]

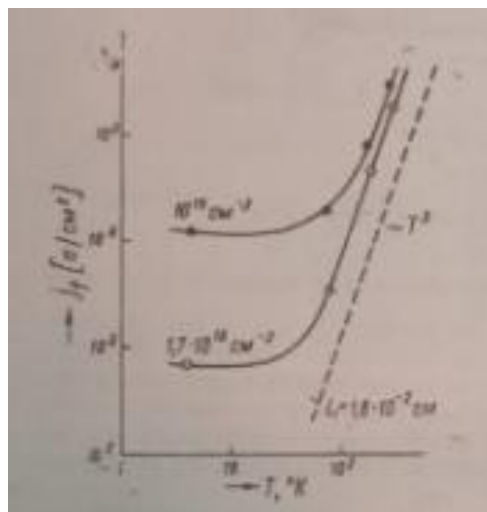
Hüddud cərəyanının sıxlığı $T=0\text{ K}$ -də $N_1 = 0$ $N_2 = n$ şərtləri daxilində (yəni aşağı V-zolağı boşdur bütün elektronlar yuxarı C-zolağında yerləşmişdir) belə təyin olunur :

$$I_{hüd} = \frac{8\pi q n_0^2 v^2 d\Delta v}{\eta \cdot c^2} \left[\frac{1}{l} \ln \frac{1}{R} + \alpha \right].$$

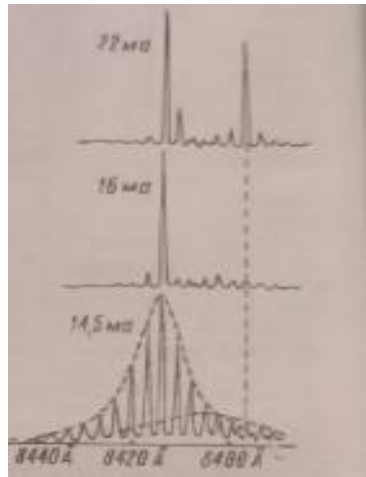
Burada n_0 – maddənin sınma əmsalı v - şüalanmanın tezliyi Δv – rezonans xəttin eni d - aktiv oblastın qalınlığı ($\sim 5\text{ mkm}$) $\eta = \frac{d}{\tau}$ - sistemin kvant çıxışı yəni τ - şüalanma və şüalanmasız rekombinasiya prosesini xarakterizə edən tarazsız daşıyıcıların yaşama müddəti (axırıncı hal dərin səviyyələr vasitəsilə daşıyıcıların rekombinasiya etdiyi hala təvafüq edir) , c – işığın sürəti l - lazerin uzunluğu ($100 \div 400\text{ mkm}$) R isə rezonatorun kənarlarından işığın əksətdirmə əmsallarıdır;bu əmsallar eyni olmasa $R = \sqrt{R_1 R_2}$ olur.

Yuxarıdakı münasibəti $I_{hüd} = \frac{1}{\beta} \left[\frac{1}{l} \ln \frac{1}{R} + \alpha \right]$ şəklində yazmaq olar; burada β ifadəsində kvadratik mötərizə qarşısındakı əmsalı ideal maksimal qiymətinin əksinə uyğun gəlir α əmsalı ilə itki nəzərə alınır. α və β əmsallarını təcrübi təyin etmək olar; temperatur $4,2^\circ\text{ K}$ - də $\beta \sim 5,1 \cdot 10^{-2}\text{ sm}/\alpha$ və $\alpha = 13\text{ sm}^{-1}$ olur.

Şəkil 1-də diffuziya yolu ilə alınmış GaAs p-n keçidləri üçün $I_{hüd}$, cərəyanının temperatur asılılığı göstərilmişdir.



Şəkil 1. GaAs lazerlərinin hüddud cərəyanının temperatur asılılığı



Şəkil 2. GaAs injeksiyalı lazerin şüalanmasının cərəyanın müxtəlif $I_{düz}$ qiymətlərində spektral paylanması

Aşağı temperaturda $I_{hüd} = \text{const}$ yuxarıda isə $I_{hüd} \sim T^3$ olur. Sonuncu asılılığın ödənilməsi temperaturun qiyməti bazada daşıyıcıların konsentrasiyası artdıqca böyüyür. Yüksək temperaturlarda daşıyıcıların konsentrasiyasının müxtəlif qiymətlərinə uyğun gələn ayrılar bir-birinə yaxındır, aşağı temperaturda isə onlar bir-birindən bir tərtibdən çox fərqlənir. Aşağı temperaturlarda hədd cərəyanı temperaturdan asılı olmur.

Bu cərəyan yan səthlər arasındakı d məsafəsindən R əksətdirmə və passiv udma əmsalından asılı olub, $v_x N_d$ ilə mütənəsb artır: burada N_d - donorların konsentrasiyası χ^{-1} -akceptorların konsentrasiyasının iki dəfə dəyişməsinə uyğun asılı deyildir T^3 və $N_0 \chi^{-1}$ ilə mütənəsbdir. Generasiya başladıqdan sonra məcburi rekombinasiya gedən səviyyələrin dolması dəyişir. Hədd cərəyanı bir sıra parametrlərdən məsələn aşqarların diffuziya cəbhəsinin dikliyindən və s. –dən kəskin asılıdır.

Lazerin şüalanma xəttinin eni cərəyanın qiymətindən asılıdır. Kiçik cərəyanlarda spontan şüalanmanın enli spektral xətti müşahidə olunur. Məcburi şüalanma nəticəsində işığın güclənməsi tezlikdən rezonanslı asılı olduğu üçün $I_{hüd}$ yaxınlığında şüalanma xətti yığılır. Koherent generasiyanın başlanğıcında yəni $I = I_{hüd}$ olduqda ideal lazerlə bir “moda” həyəcanlanır, şüalanma xəttinin eni $\Delta\epsilon$ aşağıdakı düsturla təyin edilir;

$$\Delta\epsilon = A^3 \sqrt{\frac{I - I_{hüd}}{I_{hüd}}}$$

Düzünə cərəyan yüksəldikcə modların sayı $I - I_{hüd}$ ilə mütənasib artır. Elə buna görə də lazerin şüalanma spektri diskretdir, modlardan ibarətdir, müəyyən bir tezlikli xətlərdir. $T = 10^{\circ} K$ -də işləyən lazerin cərəyanının üç qiymətində şüalanma spektri göstərilmişdir. Ərintidən gözürtülmüş lazerlərdə hüdud cərəyanının sıxlığı otaq temperaturunda diffuziya yolu ilə alınmış lazerlərin hüdud cərəyanının sıxlığından təxminən üç dəfə kiçikdir.[5] Bu lazerlərdə hüdud cərəyanının temperaturdan asılı olmayan oblastı genişdir. Bu hadisə həmin lazerlərin enerji diaqramında daha aydın sezilən "quyruqların" olması ilə izah edilir.

Düzünə gərilmiş p-n keçidlərdə rekombinasiya şüalanmasından istifadə edilən lazerlər injeksiyalı adlanır. Hazırda bütün yarımkeçirici injeksiyalı lazerlər düzünə keçidə malik materiallardan düzəldilir.

Nəticə

P-n keçidli lazerlər impuls və fasiləsiz rejimdə işləyə bilər. Belə lazerlərin faydalı iş əmsalı on faizlərə çata bilər. Başqa lazerlərə nisbətən onlar xüsusən aşağı temperaturlarda daha effektivdir. P-n keçidlərdən keçən təxminən bütün elektronlar faydalı işıq fotonu verir. İnjeksiya lazerlərin daha bir üstünlüyü vardır: yarımkeçiricinin tərkibini dəyişməklə geniş diapazonda istənilən dalğa uzunluğunu ala bilərik. Məsələn InP və InAs kristallarının qarışığından hazırlanmış lazerlərdə tərkibi dəyişməklə 0,91-3,1 mkm intervalında istənilən dalğa uzunluğundan məcburi şüalanma almaq olar. Kristalın temperaturunu seçməklə dalğa uzunluğunu daha səlis tənzim etmək mümkündür.

Ədəbiyyat

- 1.ИбрагимовГ.Б. О температурной зависимости статической электро проводности полупроводниковой проволоки Fizikanin aktual Problemləri, III Respublika elmi konfransi 2004,c.88-89.
- 2.Галицкий В.М., Елесин В.Ф. Резонансное взаимодействие электромагнитных полей с полупроводниками. М.Энергоатомиздат 1986.192с.
- 3.Тутурин Н.Н., Экстрагирование, экстракция // Энциклопедический словарь Брокгаузи и Ефрона: в 86т. 1890-1907 г.
4. Зеегер К. Введенне физика полупроводников, М., Мир, 1977, 615 с.
- 5.Н.В.Abdullayev, Z.Ə.İsgəndərzadə Yarımkeçirici çeviricilər Bakı-1974