

**EKSTRAKSI CAHAYA DALAM SILIKON UNTUK PENGEMBANGAN
SUMBER OPTIK YANG EFISIEN**

SKRIPSI

*Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Sains Bidang Studi
Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya*



Oleh:

RAHMAT AKBAR

08021281924022

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2023

LEMBAR PENGESAHAN

**EKSTRAKSI CAHAYA DALAM SILIKON UNTUK PENGEMBANGAN
SUMBER OPTIK YANG EFISIEN**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains

Bidang Studi Fisika

Oleh:

RAHMAT AKBAR

NIM. 08021281924022

Indralaya, Agustus 2023

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Mengetahui,

Dosen Pembimbing II



Dr. Fitri Suryani Arsyad, M. Si.

NIP. 197010191995122001



DR. DILLA DURYHA BERHANUDDIN
Felo Penyelidik/Pensyarah Kanan
Institut Kejuruteraan Mikro dan Nanoelektronik (IMEN)
Universiti Kebangsaan Malaysia

Dr. Dilla Duryha Berhanuddin

NP. K017618

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M. T.

NIP. 197009101994121001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya:

Nama : Rahmat Akbar

NIM : 08021281924022

Judul TA : Ekstraksi Cahaya Dalam Silikon Untuk Pengembangan Sumber Optik
Yang Efisien

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya susun dengan judul tersebut adalah asli atau orisinalitas dan mengikuti etika penulisan karya tulis ilmiah sampai pada waktu skripsi ini diselesaikan, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains di program studi fisika Universitas Sriwijaya.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak mana pun. Apabila dikemudian hari terdapat kesalahan ataupun keterangan palsu dalam surat pernyataan ini, maka saya siap bertanggung jawab secara akademik dan bersedia menjalani proses hukum yang telah ditetapkan.

Indralaya, Juli 2023
Yang menyatakan,



Rahmat Akbar
NIM. 08021281924022

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

Ayahanda tercinta,

Azwandi

Yang selalu bekerja keras untuk menjadikan penulis menjadi orang yang lebih baik.

Ibunda tercinta,

Marlina

Yang selalu mendoakan, menasihati, dan menyemangati agar selalu dapat melewati masa sulit di dunia perkuliahan.

Kakak-kakak saya tercinta,

Ayu Suci & Winda Sibrie

Yang selalu memberikan masukan pada saat penulis sulit dalam menyelesaikan masalah dan mendoakan agar semuanya berjalan lancar.

Adik saya tercinta,

Desti Eriska

Yang selalu memberikan semangat pada saat penulis sedang kesulitan dalam menulis laporan tugas akhir.

Terima kasih selalu memberi doa dan dukungannya selama ini.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan nikmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir yang berjudul “**Ekstraksi Cahaya Dalam Silikon untuk Pengembangan Sumber Optik yang Efisien**”. Adapun Tugas Akhir dilaksanakan di *Institute of Microengineering and Nanoelectronics* (IMEN), Universitas Kebangsaan Malaysia (UKM). Penelitian ini bertujuan untuk memenuhi syarat pengambilan mata kuliah wajib yaitu Tugas Akhir di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

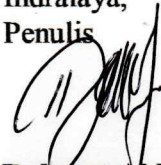
Penulis sangat menyadari bahwa dalam penulisan dan penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan masih banyak kekurangannya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan berupa kritik dan saran yang membangun. Penulis juga menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan laporan tugas akhir ini terutama kepada:

1. Ibu Dr. Fitri Suryani Arsyad, M. Si. selaku dosen pembimbing I yang telah sabar dalam membimbing penulis sehingga terselesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Ibu Dr. Dilla Duryha Berhanuddin selaku dosen pembimbing II dan pembimbing lapangan yang telah membimbing saya dalam pengambilan data dan pembuatan laporan tugas akhir.
3. Program kerja sama Jurusan Fisika FMIPA Unsri - IMEN UKM yang tertuang dalam draf MoA pada tanggal 1 Desember 2022.
4. Kak Ellena Razak yang membantu saya langsung dalam pengambilan data.
5. Seluruh kepengurusan IMEN (*Institute of Microengineering and Nanoelectronics*) yang memberikan saya dukungan dan izin dalam melakukan penelitian di laboratorium semikonduktor.
6. Ibu Drs. Yulinar Adnan, M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang membangun agar penulis lebih baik lagi.
7. Ibu Dr. Assa'idah, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji saya yang telah memberikan masukan yang membangun bagi penulis.

8. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, M.T. selaku ketua jurusan fisika.
9. Bapak Dr. Supardi M.Si. selaku sekretaris jurusan fisika.
10. Bapak Prof. Dr. M. Irfan, M.T. selaku dosen pengampu akademik saya.
11. Bapak Nabair dan Kak David selaku staff admin jurusan fisika yang telah membantu saya dalam pengurusan berkas sidang.
12. Serta seluruh dosen dan staff Jurusan Fisika Universitas Sriwijaya yang telah banyak memberikan bantuan dan ilmu pengetahuan sehingga membantu penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir.
13. Keluarga saya, ayah, ibu, kakak dan adik saya yang senantiasa mendoakan saya.
14. Teman-teman Omar Kos dan Alin kos, Omar, Eji, Afif, Aziz, Dikanio, Riski, Alin, Wendi, Yasep, Bayu.
15. Teman-teman KM MUBA, Rian, Mael, Ipol, Ariq, Medik, Fikri.
16. Pacar saya Annisa Rahma Putri, yang selalu memberikan dorongan, doa, saran dan masukan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.
17. Seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu.

Indralaya, Juli 2023

Penulis



Rahmat Akbar

NIM. 08021281924022

**EKSTRAKSI CAHAYA DALAM SILIKON UNTUK PENGEMBANGAN
SUMBER OPTIK YANG EFISIEN**

Oleh:

**RAHMAT AKBAR
NIM. 08021281924022**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan dan karakterisasi teknik implantasi ion baru untuk memperoleh emisi dari silikon yang benar-benar kompatibel dengan teknologi CMOS yang matang. Silikon memiliki kekurangan pada band gap tidak langsung yang mengurangi efisiensi dari ekstraksi cahaya dari silikon. Oleh karena itu teknik implantasi ion karbon pada silikon pada penelitian ini menjadi metode yang dipakai untuk meningkatkan efisiensi pada ekstraksi cahaya pada silikon dan dilakukan annealing untuk memperbaiki kerusakan pada material silikon setelah dilakukan implantasi ion. Untuk mengetahui karakteristik pada silikon sebelum dilakukan implantasi ion, setelah dilakukan implantasi ion karbon, dan setelah dilakukan proses annealing digunakan teknik *photoluminescence*. Setelah dilakukan *photoluminescence* dapat disimpulkan bahwa semakin besar daya laser yang digunakan maka akan semakin besar intensitas yang didapat pada saat dilakukan *photoluminescence* dimana intensitas terbesar terdapat pada sampel silikon dengan *single* implan dengan nilai 0,394 V pada daya 900 mWcm^{-2} dalam suhu 10 K. Sedangkan nilai intensitas pada silikon yang sudah dilakukan *annealing* akan sedikit lebih kecil dibandingkan sebelum dilakukan proses *annealing* dengan nilai 0,384 v pada sebelum annealing dan sebesar 0,365 V pada sesudah annealing. Pada setiap spektrum memiliki puncak pada sekitar 1,08 eV sampai 1,09 eV yang mana nilai ini hampir mendekati energi band gap silikon 1,1 eV.

Kata kunci: *Annealing*, Implantasi Ion, Karbon, *Photoluminescence*, Silikon Fotonik.

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing I**



**Dr. Fitri Suryani Arsyad, M. Si.
NIP. 197010191995122001**

Indralaya, Juli 2023

**Mengetahui,
Dosen Pembimbing II**



DR. DILLA DURYHA BERHANUDDIN
Felo Penyelidik/Pensyarah Kanan
Institut Kejuruteraan Mikro dan Nanoelektronik (IMEN)
Universiti Kebangsaan Malaysia

**Dr. Dilla Duryha Berhanuddin
NP. K017618**

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika**



**Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M. T.
NIP. 19700910199412100**

LIGHT EXTRACTION IN SILICON FOR THE DEVELOPMENT OF EFFICIENT OPTICAL SOURCES

By:
RAHMAT AKBAR
NIM. 08021281924022

ABSTRACT

This research aims to optimize and characterize a new ion implantation technique to obtain emission from silicon that is fully compatible with mature CMOS technology. Silicon has the disadvantage of having an indirect band gap, which reduces the efficiency of light extraction from silicon. Therefore, carbon ion implantation on silicon in this study becomes the method used to enhance light extraction efficiency in silicon, and annealing is performed to repair the damage to the silicon material after ion implantation. To understand the characteristics of silicon before ion implantation, after carbon ion implantation, and after annealing, *photoluminescence* technique was used. After performing *photoluminescence*, it can be concluded that the higher the laser power used, the greater the intensity obtained during *photoluminescence*. The highest intensity is found in the silicon sample with *single* implantation with a value of 0.394 V at a power of 900 mWcm⁻² at a temperature of 10 K. Meanwhile, the intensity value in silicon that has undergone annealing is slightly smaller than before annealing, with a value of 0.384 V before annealing and 0.365 V after annealing. In each spectrum, there is a peak at around 1.08 eV to 1.09 eV, which is very close to the silicon band gap energy of 1.1 eV.

Keywords: Annealing, Carbon, Ion Implantation, Silicon Photonic, *Photoluminescence*.

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I



Dr. Fitri Suryani Arsyad, M. Si.
NIP. 197010191995122001

Indralaya, Juli 2023
Mengetahui,
Dosen Pembimbing II



DR. DILLA DURYHA BERHANUDDIN
Felo Penyelidik/Pensyarah Kanan
Institut Kejuruteraan Mikro dan Nanoelektronik (IMEN)
Universiti Kebangsaan Malaysia

Dr. Dilla Duryha Berhanuddin
NP. K017618

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M. T.
NIP. 19700910199412100

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR ISTILAH	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Silikon	3
2.2. <i>Silicon Fotonik</i>	3
2.3. Peningkatan Efisiensi Fotonik Silikon menggunakan Teknik Implantasi Ion	5
2.4. Metode Numerik dalam Teknik Implantasi Ion Menggunakan SRIM dan SUSPRE	7

2.5. LED Berbasis Silikon	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1. Alat dan Bahan	11
3.2. Alur Penelitian.....	13
3.2.1. Teknik Implantasi Ion Menggunakan <i>single</i> dan <i>double</i> Karbon pada Silikon.....	13
3.2.2. Perancangan Alat <i>Photoluminescence</i>	14
3.2.3. Pengukuran Karakteristik Sampel Silikon Menggunakan <i>Photoluminescence</i> (PL)	16
3.3. Tabel Pengamatan Sampel Penelitian.....	17
3.4. Jadwal Pelaksanaan Penelitian	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	18
4.1. Hasil Pengukuran <i>Photoluminescence</i> (PL).....	18
4.1.1. <i>Temperature</i> dan <i>Power Dependent</i> PL pada Sampel Silikon.....	18
4.1.2. <i>Power Dependent</i> PL pada Sampel Silikon Setelah Proses <i>Annealing</i>	26
4.2. Perhitungan FWHM (<i>Full Width at Half Maximum</i>)	29
BAB V KESIMPULAN.....	33
5.1. Kesimpulan.....	33
5.2. Saran	33
DAFTAR PUSTAKA.....	34
LAMPIRAN	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Atom Silikon.....	3
Gambar 2.3 Hasil Simulasi SRIM Implantasi Ion Karbon Pada Silikon.....	6
Gambar 2.4 <i>Type P</i> dan <i>Type N</i> pada LED.....	9
Gambar 3.1 <i>Institute of Microengineering and Nanoelectronics</i> (IMEN), Universitas Kebangsaan Malaysia (UKM)	11
Gambar 3.2 Skema Implantasi Ion	13
Gambar 3.3 Alat keseluruhan pengukuran <i>photoluminescence</i> (PL) Pada Laboratorium Semikonduktor IMEN.....	14
Gambar 3.4 Laser Sistem pada <i>photoluminescence</i> (PL) Laboratorium Semikonduktor IMEN.....	15
Gambar 3.5 Skema <i>Photoluminescence</i>	16
Gambar 4.2 Grafik spektrum <i>photoluminescence</i> pada sampel degan <i>single</i> karbon implan (W2Ai) pada suhu (a) 10 K, (b) 40 K, dan (c) 80 K	21
Gambar 4.3 Grafik spektrum <i>photoluminescence</i> pada sampel dengan <i>double</i> karbon implan (W3Ai) pada suhu (a) 10 K, (b) 40 K, dan (c) 80 K.....	24
Gambar 4.5 Grafik spektrum <i>photoluminescence</i> (a) sampel silikon dengan <i>single</i> karbon implan setelah dilakukan proses <i>annealing</i> dan (b) sampel silikon dengan <i>double</i> karbon implan setelah dilakukan proses <i>annealing</i>	27
Gambar 4.6 Grafik FWHM pada semua spektrum <i>photoluminescence</i> (a) sampel silikon tanpa implan karbon, (b) sampel silikon dengan <i>single</i> implan karbon, (c) sampel silikon dengan <i>double</i> karbon implan, dan (d) perbedaan FWHM sampel sebelum dan sesudah <i>annealing</i>	29

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tabel Pengamatan Sampel Penelitian	17
Tabel 3.2 Jadwal Pelaksanaan Penelitian	17
Tabel 4.1 Nilai Energi Silikon Tanpa Implan	20
Tabel 4.2 Nilai Energi Silikon <i>Single</i> Karbon Implan	23
Tabel 4.3 Nilai Energi Silikon <i>Double</i> Karbon Implan	26
Tabel 4.4 Nilai Energi Pada Sampel Silikon Setelah Proses Annealing	28
Tabel 4.5 Nilai FWHM Pada Semua Hasil <i>Photoluminescence</i>	31

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Alat dan Bahan Penelitian	38
Lampiran II Proses Pengambilan Data	44
Lampiran III Data <i>Photoluminescence</i> Sampel Silikon Tanpa Implan	46
Lampiran IV Data <i>Photoluminescence</i> Sampel Silikon <i>Single</i> Karbon Implan..	65
Lampiran V Data <i>Photoluminescence</i> Sampel Silikon <i>Double</i> Karbon Implan..	82
Lampiran VI Dokumentasi Selama Penelitian	98

DAFTAR ISTILAH

- Adhesif : Sifat yang dimiliki oleh bahan perekat untuk mengikat dua permukaan bersama-sama.
- Afinitas : Kecenderungan suatu unsur atau senyawa untuk membentuk ikatan kimia dengan unsur atau senyawa lain.
- Atom substitusional : Atom yang menggantikan atom lain dalam struktur kristal padatan logam dengan struktur atom yang sama.
- Celah Pita/*Band Gap* : Celah pita atau band gap adalah perbedaan energi antara bagian atas pita valensi dan bagian bawah pita konduksi dalam bahan semikonduktor.
- Chip* : Sebuah jenis utama dari rangkaian terintegrasi yang digunakan dalam berbagai aplikasi seperti mikroprosesor, pengontrol mikro, RAM statis, dan sirkuit logika digital lainnya.
- CMOS : Singkatan dari *Complementary Metal Oxide Semiconductor* atau dalam bahasa Indonesia dapat diterjemahkan menjadi Semikonduktor Oksida Logam Komplementer.
- CVD : *Chemical Vapor Deposition* (CVD) adalah metode deposisi vakum yang digunakan untuk menghasilkan bahan padat berkualitas tinggi dan berkinerja tinggi.
- DLC : *Diamond Like Carbon* (DLC) adalah lapisan tipis karbon yang memiliki sifat mirip dengan berlian.
- Efek Kerr : Perubahan indeks bias suatu bahan yang disebabkan oleh medan listrik yang diterapkan pada bahan tersebut.
- Efek Raman : Fenomena dalam spektroskopi di mana cahaya yang tersebar oleh suatu bahan memiliki panjang gelombang yang berbeda dari cahaya yang datang.
- Fotonik : Bidang ilmu dan teknologi yang berkaitan dengan optik dan rekayasa optik, terutama yang berhubungan dengan partikel foton dalam spektrum cahaya.
- FWHM : FWHM adalah singkatan dari *Full Width Half Maximum*. FWHM digunakan untuk mengukur lebar distribusi intensitas pada setiap titik data dalam suatu kurva atau spektrum.
- Implantasi Ion : Proses di mana ion diakselerasikan dan diarahkan ke permukaan bahan untuk mengubah sifat-sifat material tersebut.

Interstitial	: Atom yang terletak di antara atom-atom lain dalam struktur kristal.
<i>Ion Channeling</i>	: Teknik kuantitatif yang kuat untuk mempelajari evolusi cacat yang diinduksi oleh iradiasi ion dalam material kristal tunggal.
<i>Ion Straggle</i>	: Fenomena di mana ion yang diimplan ke dalam bahan menyebar secara acak di sepanjang jalur implantasi, sehingga menghasilkan distribusi yang tidak sempurna dari ion di dalam bahan.
Iradiasi Proton	: Proses pengiradian suatu bahan atau jaringan dengan menggunakan partikel proton.
Koefisien Gesek	: Besaran yang mengukur besarnya gaya gesek yang terjadi antara dua permukaan yang bersentuhan.
Nanokristal	: Sebuah bahan yang terdiri dari partikel-partikel kecil dengan ukuran di bawah 100 nanometer (nm) dan memiliki sifat-sifat yang berbeda dari bahan yang sama dalam bentuk makroskopik.
Optoelektronik	: Studi dan aplikasi perangkat dan sistem elektronik yang menemukan, mendeteksi, dan mengontrol cahaya, biasanya dianggap sebagai sub-bidang fotonik.
<i>Photoluminescence</i>	: Alat digunakan dalam karakterisasi sifat optik dan elektronik dari material.
Piranti Optik	: Sebuah perangkat elektronik yang menggunakan cahaya atau sinar untuk mengirimkan atau menerima informasi.
<i>Raman Conversion</i>	: Proses mengubah antara pergeseran Raman dalam satuan bilangan gelombang (cm^{-1}) menjadi panjang gelombang (nm) atau sebaliknya.
<i>Rare Earth Doping</i>	: Proses menambahkan unsur tanah jarang (<i>rare earth</i>) ke dalam material inorganik untuk mengubah sifat-sifat material tersebut.
Rekayasa Dislokasi	: Suatu proses yang melibatkan manipulasi dan pengendalian dislokasi dalam material untuk mempengaruhi sifat-sifat mekanik dan strukturalnya.
Resolusi Spasial	: Ukuran terkecil objek di lapangan yang dapat terekam pada data digital maupun pada citra.
Silika	: Senyawa kimia yang terdiri dari silikon dan oksigen dengan rumus kimia SiO_2 .

- Spektrum : Rentang atau kumpulan dari berbagai jenis gelombang atau sinyal yang memiliki karakteristik tertentu.
- ULSI : *Ultra Large-Scale Integration* (ULSI) adalah sebuah teknologi integrasi skala besar yang mampu menanamkan jutaan transistor pada sebuah chip semikonduktor silikon tunggal.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Fotonik silikon adalah bidang yang menarik dan berkembang pesat dan memegang masa depan untuk pembuatan *chip* komputer dan telekomunikasi dengan integrasi komponen optik dengan elektronik. Pada saat ini ada juga kebutuhan mendesak untuk membuat pemancar optik berbasis silikon yang kompatibel dengan teknologi *ultra large scale integration* (ULSI) yang digunakan dalam fabrikasi sirkuit tertentu. Terlepas dari celah pita tidak langsung silikon, yang membuatnya tidak cocok sebagai pemancar optik, dalam dekade terakhir berbagai pendekatan telah dicoba untuk mencoba menghindari batasan celah pita, sehingga mengubah silikon sebagai bahan yang aktif secara optik. Diantara metode yang berhasil dan menjanjikan untuk memperoleh emisi cahaya dari silikon adalah manipulasi pusat cacat titik aktif-optik untuk menghasilkan emisi pada panjang gelombang tertentu seperti pada 1280 nm yang disebut *G-centre*. Emisi *G-centre* pada 1,28 μm berada dalam kisaran spektrum yang sangat penting dalam pekerjaan jaringan serat optik jarak jauh dan karena berada di bawah energi celah pita Si (Abdul Razak dkk., 2020).

Pada penelitian sebelumnya, selain dari manipulasi emisi *G-centre* telah banyak pendekatan yang dilakukan di antaranya Raman *Conversion*, silikon yang teregang yaitu rekayasa dislokasi, dan nanokristal dengan atau tanpa *rare earth doping* seperti erbium (Er) (Lourenço dkk., 2019). Dalam penelitian ini, akan dilakukan teknik baru untuk mendapatkan intensitas tinggi dari silikon dengan mengoptimalkan parameter kontrol pada teknik yang tersedia dari industri CMOS seperti implantasi ion dan *rapid thermal annealing*. Pengujian karakter parameter kontrol pada implantasi ion dapat dilakukan dengan menggunakan pengukuran *photoluminescence* (PL). Penulis membuat judul “Ekstraksi Cahaya Dalam Silikon untuk Pengembangan Sumber Optik yang Efisien” dengan harapan dari penelitian ini dapat menghasilkan perangkat LED yang lebih efisien atau sebanding dengan pemancar cahaya tingkat III-V komersial pada saat ini. Penelitian ini juga berguna sebagai pengenalan teknik untuk mendapatkan emisi

dari silikon yang benar-benar kompatibel dengan teknologi CMOS yang matang, sehingga menyelesaikan permasalahan dari semua sistem fotonik berbasis silikon.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana mengkarakterisasi pancaran emisi cahaya dari silikon yang telah di implan karbon dengan menggunakan pengukuran *photoluminescence* (PL)?
2. Bagaimana perbedaan karakteristik dari pancaran emisi cahaya silikon yang telah di implan karbon sebelum dan sesudah dilakukan proses *annealing* pada sampel silikon?

1.3. Batasan Masalah

Penggunaan pengukuran *photoluminescence* (PL) untuk mengukur dan mengkarakterisasikan emisi cahaya dari silikon yang telah di implan dengan karbon dan penggunaan pengukuran *photoluminescence* pada sampel setelah dilakukan proses *annealing* pada sampel silikon yang telah di implan dengan karbon.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Mengkarakterisasi pancaran dari silikon yang telah di implan karbon dengan menggunakan pengukuran *photoluminescence* (PL)
2. Mengetahui perbedaan karakteristik dari pancaran emisi cahaya silikon yang telah di implan karbon sebelum dan sesudah dilakukan proses *annealing* pada sampel silikon

1.5. Manfaat Penelitian

1. Mengoptimalkan dan karakterisasi teknik implantasi ion baru untuk memperoleh emisi dari silikon yang benar-benar kompatibel dengan teknologi CMOS yang matang
2. Mengetahui komposisi implan karbon yang efisien untuk dipakai pada piranti optik

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Razak, N. E., Madhuku, M., Ahmad, I., Majlis, B. Y., Chang, F. D., & Berhanuddin, D. D. (2020). Structural and *Photoluminescence* Analysis on the Implantation of Carbon and Proton for the Creation of Damage-Assisted Emission in Silicon. *Sains Malaysiana*, 49(12), 2941–2950. <https://doi.org/10.17576/jsm-2020-4912-06>
- Astuti, B., Maftuchah, I., Arina, N., Marwoto, P., Darsono, T., & Aryanto, D. (2022). EFEK DAYA PLASMA TERHADAP SIFAT FOTOLUMINESEN FILM TIPIS ZnO DOPING Al. *Bookchapter Kimia Universitas Negeri Semarang*, 1(1), 160–196.
- Berhanuddin, D. D., Lourenço, M. A., Gwilliam, R. M., & Homewood, K. P. (2018). The Effect of Temperature to the Formation of Optically Active Point-defect Complex, the Carbon *G-centre* in Pre-amorphised and Non-amorphised Silicon. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 384, 012062. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/384/1/012062>
- Handoko, D. (2010). Pengaruh Variasi Waktu Implantasi Ion Nitrogen Terhadap Kekerasan Pahat HSS Kualitas Rendah. *Suara Teknik: Jurnal Ilmiah*, 1(2), 52–62. <https://doi.org/10.29406/stek.v1i2.308>
- Hu, X., Zhang, Y., Guzun, D., Ware, M. E., Mazur, Y. I., Lienau, C., & Salamo, G. J. (2020). *Photoluminescence* of InAs/GaAs quantum dots under direct two-photon excitation. *Scientific Reports*, 10(1), 10930. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67961-z>
- Iliopoulos, E., Doppalapudi, D., Ng, H. M., & Moustakas, T. D. (1998). Broadening of near-band-gap *photoluminescence* in n-GaN films. *Applied Physics Letters*, 73(3), 375–377. <https://doi.org/10.1063/1.121839>
- Iqbal, M. (2019). RANCANG BANGUN TEXT DAN ANIMASI 3 DIMENSI PADA LED CUBE BERBASIS ARDUINO UNO ATMEGA 328. *SIGMA TEKNIKA*, 2(2), 158. <https://doi.org/10.33373/sigma.v2i2.2062>
- Ithurria, S., Tessier, M. D., Mahler, B., Lobo, R. P. S. M., Dubertret, B., & Efros, A. L. (2011). Colloidal nanoplatelets with two-dimensional electronic

- structure. *Nature Materials*, *10*(12), 936–941.
<https://doi.org/10.1038/nmat3145>
- Kambali, I., & Suryanto, H. (2004). INTERAKSI PROTON BERENERGI TINGGI DENGAN MATERI DAN APLIKASINYA UNTUK STUDI KOROSI BAHAN. *Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka*, *7*(2), 1–13.
- Khairulazdan, N. B., Menon, P. S., Zain, A. R. Md., & Berhanuddin, D. D. (2022). Optimization of photonic crystal structure by FDTD method to improve the light extraction efficiency in silicon. *Chalcogenide Letters*, *19*(7), 493. <https://doi.org/10.15251/CL.2022.197.493>
- Lourenço, M. A., Majlis, B. Y., & Homewood, K. P. (2019). *G*-centre Formation and Behavior in a Silicon on Insulator Platform by Carbon Ion Implantation and Proton Irradiation. *Sains Malaysiana*, *48*(6), 1251–1257. <https://doi.org/10.17576/jsm-2019-4806-12>
- Nasution, S. P. (2021). PENGGUNAAN BAHAN SILIKON SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI SEDOTAN PLASTIK. *Jurnal Seni dan Reka Rancang: Jurnal Ilmiah Magister Desain*, *2*(1), 119–126. <https://doi.org/10.25105/jsrr.v2i1.10104>
- Sabbar, A., Madhusoodhanan, S., Al-Kabi, S., Dong, B., Wang, J., Atcity, S., Kaplar, R., Ding, D., Mantooth, A., Yu, S.-Q., & Chen, Z. (2019). High Temperature and Power Dependent *Photoluminescence* Analysis on Commercial Lighting and Display LED Materials for Future Power Electronic Modules. *Scientific Reports*, *9*(1), 16758. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52126-4>
- Siska Titik Dwiwati, Syamsuir, S., & Pangestu, M. T. (2022). KEHILANGAN MASSA LAPISAN TEMBAGA-NIKEL/TEMBAGA-NIKEL-SILIKON PADA LARUTAN HCl. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, *7*(1), 27–34. <https://doi.org/10.21009/JKEM.7.1.4>
- Soref, R. (2006). The Past, Present, and Future of Silicon Photonics. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, *12*(6), 1678–1687. <https://doi.org/10.1109/JSTQE.2006.883151>

- Xu, K. (2019). Silicon MOS Optoelectronic Micro-Nano Structure Based on Reverse-Biased PN Junction. *Physica Status Solidi (a)*, 216(7), 1800868. <https://doi.org/10.1002/pssa.201800868>
- Xu, K., Chen, Y., Okhai, T. A., & Snyman, L. W. (2019). Micro optical sensors based on avalanching silicon light-emitting devices monolithically integrated on chips. *Optical Materials Express*, 9(10), 3985. <https://doi.org/10.1364/OME.9.003985>