

**SÜPERİLETKEN DOĞRUSAL HIZLANDIRICIDAN ELDE EDİLEN
SERBEST ELEKTRON LAZERİNE DAYALI
POMPA SONDA TEKNİĞİ VE UYGULAMALARI**

Ayşegül UŞUN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2012
ANKARA**

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ayşegül UŞUN

**SÜPERİLETKEN DOĞRUSAL HIZLANDIRICIDAN ELDE EDİLEN
SERBEST ELEKTRON LAZERİNE DAYALI
POMPA SONDA TEKNİĞİ VE UYGULAMALARI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Ayşegül UŞUN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2012**

ÖZET

Süperiletken doğrusal elektron hızlandırıcısından elde edilen rölativistik elektron demeti, salındırıcı magnetten geçirildiğinde magnet eksenini boyunca ani salındırıcı magnet ışması yapmakta ve yayılan ışma iki ayna arasında tuzaklanarak salındırıcı magnete sonradan giren elektron paketçikleri ile etkileşime girmektedir. Elektron paketçikleri ile elektronun manyetik alanı arasındaki bu etkileşme sonucunda koherent bir ışınım meydana gelmekte ve bu ışınım Serbest Elektron Lazeri adı verilmektedir.

Bu çalışmada Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) desteği ile kurulum çalışmaları sürdürülen Türk Hızlandırıcı Merkezi Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri (THM IR SEL) tesisinde kurulması planlanan deney istasyonlarından biri olan doğrusal olmayan optik laboratuvarında, 2.5-250 µm dalgaboylu SEL kullanılarak uygulanacak olan Pompa Sonda Tekniği ve bu teknikle yapılabilecek olan deneyler anlatılmıştır. THM’de kurulacak olan doğrusal olmayan optik laboratuvarlarının tasarımı, özellikleri ve burada yapılacak deneylerde kullanılabilecek deney aletleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Son olarak dünyada doğrusal hızlandırıcıdan elde edilen IR SEL ile pompa

sonda tekniğini kullanarak çalışmalar yapan HZDR (Almanya), CLIO (Fransa), FELIX (Hollanda) ve FELSUT (Japonya) araştırma merkezleri incelenmiştir. Bu merkezlerde pompa sonda tekniği ile yapılan araştırmalar özetlenmiştir.

Bilim Kodu : 202.1.149

Anahtar Kelimeler : Doğrusal hızlandırıcı, Kızılötesi, Pompa sonda tekniği, Serbest elektron lazeri, Spektroskopi, Süperiletken, Türk Hızlandırıcı Merkezi, TARLA

Sayfa Adedi : 94

Tez Yöneticisi : Prof.Dr.Pervin Arıkan

**PUMP PROBE TECHNIQUE AND ITS APPLICATIONS BASED ON
FREE ELECTRON LASER OBTAINED THROUGH SUPERCONDUCTING
LINEAR ACCELERATOR**

(M.Sc. Thesis)

Ayşegül UŞUN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2012

ABSTRACT

Relativistic electron beam obtained from superconducting linear accelerator radiates a sudden undulator magnet radiation along magnet axis when it is passed through magnet and the spreading radiation trapped between two mirrors interacts with electron packets which penetrate subsequently into undulator magnet. A coherent radiation occurs as a result of this interaction between the magnetic field of the electron with the electron packets and this radiation is called the Free Electron Laser.

In this study, pump probe technique and the experiments, which will be hold on with this technique, are described to use in non-linear optic laboratory (one of the experiment laboratories), will be set in the facility called Turkish Accelerator Center Infrared Free Electron Laser that is still being set up with the support of the State Planning Organisation and is coordinated by the University of Ankara. The design and features of non-linear optic laboratories to be establish in Turkish Accelerator Center and the experimental tools that can be used in experiments to be done here is described in detail.

Finally, the accelerator facilities that do researches with IR SEL obtained from linear accelerator by using pump probe technique “HZDR (Germany), CLIO

(France), FELIX (Netherlands), FELSUT (Japan)” are examined. The researches made by using pump probe technique in these centers are summarized.

Science Code : 202.1.149
Key Words : Free electron laser, Infrared, Linear accelerator, Pump probe technique, Spectroscopy, Superconducting, Turkish Accelerator Center, TARLA
Page Number : 94
Adviser : Prof.Dr.Pervin Arıkan

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli bilgi, deneyim ve katkılarıyla beni yönlendiren, iyi ve kötü her anımda her zaman yanımda olduğunu hissettiren kıymetli Hocam Prof. Dr. Pervin ARIKAN'a, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım ve bana laboratuvarında deney yapma fırsatı sunan ODTÜ fizik bölümünden Doç. Dr. Hakan ALTAN'a, eğitimim sırasında aldığım yüksek lisans bursu için TÜBİTAK'a, maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme, tez yazım aşamasında yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşlarım İpek AKSANGÜR ve Mümin SİMİTÇİOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Ayşegül UŞUN
Ankara, Ocak 2012

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|--------------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT..... | vii |
| TEŞEKKÜR..... | viii |
| İÇİNDEKİLER..... | ix |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ..... | xii |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ | xiii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | xviii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. TEORİK BİLGİLER..... | 3 |
| 2.1. Elektromanyetik Spektrum ve Kızılötesi Bölge..... | 3 |
| 2.2. SEL'in Elde Edilmesi..... | 4 |
| 2.2.1. Elektron tabancası..... | 4 |
| 2.2.2. Paketleyici..... | 6 |
| 2.2.3. Hızlandırıcı..... | 7 |
| 2.2.4. Salındırıcı..... | 9 |
| 2.2.5. Optik kavite..... | 12 |
| 2.3. Serbest Elektron Lazeri..... | 13 |
| 2.3.1. SEL çeşitleri..... | 15 |
| 3. TÜRK HIZLANDIRICI MERKEZİ TARLA TESİSİ VE DENEY İSTASYONLARI..... | 17 |
| 3.1. THM TARLA Tesisi..... | 17 |

| | |
|---|----|
| 3.2. TARLA Deney İstasyonları..... | 19 |
| 4. MATERYAL ve METOT..... | 22 |
| 4.1. Pompa Sonda Spektroskopisi..... | 22 |
| 4.2. Pompa Sonda Tekniği..... | 24 |
| 4.3. Pompa Sonda Deneyleri..... | 29 |
| 4.3.1. Tek renkli deneyler..... | 29 |
| 4.3.2. İki renkli deneyler..... | 33 |
| 5. ARAŞTIRMA BULGULARI..... | 35 |
| 5.1. TARLA Doğrusal Olmayan Optik Laboratuvarının Tasarımı..... | 35 |
| 5.2. TARLA Doğrusal Olmayan Optik Laboratuvarında Kullanılabilecek Cihazlar..... | 37 |
| 5.2.1. Ti:safir lazer..... | 38 |
| 5.2.2. Nd:YAG lazer..... | 39 |
| 5.2.3. Optik parametrik yükseltici..... | 41 |
| 5.2.4. Fark frekans üretimi..... | 43 |
| 5.2.5. Mylar demet bölücü..... | 44 |
| 5.2.6. Mekanik kesici..... | 46 |
| 5.2.7. Gümüş galyum selenid kristali..... | 46 |
| 5.2.8. Parabolik aynalar..... | 47 |
| 5.2.9. KRS-5 Penceresi..... | 48 |
| 5.2.10. Helyum akış tankı..... | 50 |
| 5.2.11. Si tabaka..... | 50 |
| 5.2.12. Uzun dalgaboylu geçiş filtresi..... | 51 |
| 5.2.13. Mercury cadmium tellur dedektörü..... | 51 |

| | |
|---|----|
| 5.2.14. Ge:Ga fotoiletken dedektör..... | 53 |
| 5.2.15. Bolometre..... | 54 |
| 5.2.16. Kilitli yükseltici..... | 55 |
| 6. DÜNYA'DA IR SEL KULLANAN LABORATUARLAR VE POMPA SONDA TEKNİĞİ İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR..... | 57 |
| 6.1. CLIO Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri Laboratuvarı..... | 58 |
| 6.2. HZDR Kızıl Ötesi Serbest Elektron Lazeri Laboratuvarı..... | 61 |
| 6.3. FELIX Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri Laboratuvarı..... | 71 |
| 6.4. FELSUT Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri Laboratuvarı..... | 74 |
| 7. TARTIŞMA ve SONUÇ..... | 83 |
| KAYNAKLAR..... | 86 |
| EKLER..... | 91 |
| EK-1 THM IR SEL Deney İstasyonları S1,S2,S3,S4 Zemin Kat Planı..... | 92 |
| EK-2 THM IR SEL Deney İstasyonları S5,S6,S7,S8 Birinci Kat Planı..... | 93 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 94 |

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge | Sayfa |
|--|--------------|
| Çizelge 2.1. Sİ ve Nİ hızlandırıcıların karşılaştırılması..... | 9 |
| Çizelge 3.1. THM IR SEL elektron demet parametreleri..... | 18 |
| Çizelge 3.2. THM IR SEL parametreleri..... | 18 |
| Çizelge 5.1. Örnek bir Nd:YAG lazerden elde edilen çıkış dalgaboylarındaki sinyal genişlikleri..... | 40 |
| Çizelge 5.2. Örnek bir ND:YAG lazerin enerji özellikleri..... | 40 |
| Çizelge 5.3. Çeşitli OPA özellikleri (Coherent)..... | 42 |
| Çizelge 5.4. Çeşitli OPA özellikleri..... | 42 |
| Çizelge 6.1. CLIO SEL'e ait önemli parametreler..... | 59 |
| Çizelge 6.2. HZDR IR SEL'e ait parametreler..... | 62 |
| Çizelge 6.3. FELIX'e ait parametreler..... | 71 |
| Çizelge 6.4. MIR-SEL parametreleri..... | 75 |

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil | Sayfa |
|---|-------|
| Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum..... | 3 |
| Şekil 2.2. SEL'in elde edilmesini sağlayan kısımlar..... | 4 |
| Şekil 2.3. Termiyonik tabanca düzeneği..... | 5 |
| Şekil 2.4. Alt harmonik paketleyici ve harmonik paketleyici..... | 7 |
| Şekil 2.5. Elektronlar ve hareket ettirici dalga arasındaki etkileşim..... | 7 |
| Şekil 2.6. Dokuz hücreli TESLA RF kaviteler..... | 8 |
| Şekil 2.7. Bir undulatör örneği..... | 10 |
| Şekil 2.8. Parçacığın magnet içindeki hareketi..... | 11 |
| Şekil 2.9. Elektron paketçikleri ile elektromagnetik alan arasındaki etkileşim..... | 12 |
| Şekil 2.10. Yükselteç SEL oluşumu..... | 15 |
| Şekil 2.11. SASE SEL oluşumu..... | 16 |
| Şekil 3.1. THM TARLA tesisinin şematik gösterimi..... | 17 |
| Şekil 4.1. Pompa sonda spektroskopisinin kapsadığı zaman birimleri..... | 22 |
| Şekil 4.2. Elektronik seviyeler arası geçişler..... | 23 |
| Şekil 4.3. Bir moleküldeki bazı enerji seviyelerinin şematik gösterimi..... | 23 |
| Şekil 4.4. Örnek bir pump probe deney düzeneği..... | 24 |
| Şekil 4.5. Pompa sonda atmalarının enerji seviyelerine etkileri..... | 25 |
| Şekil 4.6. Pompa sonda atmalarının örnek üzerine etkileri..... | 26 |
| Şekil 4.7. Pompa sonda sinyalleri..... | 27 |
| Şekil 4.8. Pompa atmaları için SEL, sonda atmaları için Ti:safir lazerin kullanıldığı düzenek..... | 28 |

| Şekil | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 4.9. Pompa ve sonda sinyallerinin ikisi içinde Ti:safir lazerin kaynak olarak kullanıldığı düzenek | 28 |
| Şekil 4.10. Tek renkli pompa sonda deneyleri için kullanılan örnek bir düzenek..... | 29 |
| Şekil 4.11. Aynı doğrultuda olmayan pompa sonda deneyine örnek bir düzenek..... | 30 |
| Şekil 4.12. Pompa sonda sinyallerinin dik polarize ve aynı doğrultuda olduğu pompa sonda deney düzeneği | 32 |
| Şekil 4.13. Farklı frekanslardaki kilitli deteksiyonu ve pompa ile sonda sinyalinin kesildiği aynı doğrultuda olan pompa sonda deney düzeneği..... | 32 |
| Şekil 4.14. Geniş fark frekanslı ve paralel polarizasyonlu aynı doğrultuda olan pompa sonda deney düzeneği örneği | 33 |
| Şekil 4.15. Fazdaki doğrusal olmayan kısımları ve genliği dedekte etmek için AM ve FM alıcı kullanarak yapılan iki renkli pompa sonda deney düzeneği örneği..... | 34 |
| Şekil 5.1. TARLA doğrusal olmayan optik laboratuvarı örnek dizaynı..... | 35 |
| Şekil 5.2. TARLA pompa sonda/SFG (doğrusal olmayan optik) laboratuvarı ölçüleri..... | 36 |
| Şekil 5.3. Pompa sonda deneylerinde kullanılan örnek bir düzenek..... | 37 |
| Şekil 5.4. 800 nm dalgaboyu çıkışı veren Coherent Verdi V18 lazeri ile pompalanan bir Ti:safir lazer örneği..... | 39 |
| Şekil 5.5. Nd:YAG lazer örneği (Spectra physics)..... | 40 |
| Şekil 5.6. Pompa dalgasının OPA'dan geçip sinyal fotonları ve idler fotonlarına dönüşümü..... | 41 |
| Şekil 5.7. OPA örneği..... | 41 |
| Şekil 5.8. OPA örneği (Newport)..... | 42 |
| Şekil 5.9. Fark frekansı üretimi | 43 |

| Şekil | Sayfa |
|---|--------------|
| Şekil 5.10. DFG için, sıralı 13 ızgara ile Lityum Niobattan büyütülen bir malzeme parçası | 43 |
| Şekil 5.11. Mylar demet bölücü örneği..... | 44 |
| Şekil 5.12. ZnSe genişbantlı düzlemsel demet bölücü (7-14 μm)..... | 45 |
| Şekil 5.13. CaF_2 genişbantlı demet bölücü (2-8 μm)..... | 45 |
| Şekil 5.14. Mekanik kesici şekli (HOLMARC)..... | 46 |
| Şekil 5.15. Bir parabolik ayna örneği..... | 47 |
| Şekil 5.16. Parabolik aynanın özellikleri | 47 |
| Şekil 5.17. Thallium Bromoiodide örneği | 48 |
| Şekil 5.18. BaF_2 pencereler (200 nm-11 μm)..... | 49 |
| Şekil 5.19. Ge pencereler (2-16 μm)..... | 49 |
| Şekil 5.20. Zinc Selenide pencereler (600nm-16 μm)..... | 49 |
| Şekil 5.21. Helyum akış tankı örneği | 50 |
| Şekil 5.22. Si tabaka örnekleri..... | 51 |
| Şekil 5.23. LWP filtre örnekleri..... | 51 |
| Şekil 5.24. HgCdTe dedektör şeması..... | 52 |
| Şekil 5.25. HgCdTe dedektörü | 53 |
| Şekil 5.26. Ge:Ga fotoiletken dedektör örneği..... | 54 |
| Şekil 5.27. Bir helyum tankı ve bolometre örneği..... | 55 |
| Şekil 5.28. Kilitli yükseltici örneği..... | 55 |
| Şekil 6.1. CLIO SEL'in şematik görünümü..... | 58 |
| Şekil 6.2. CLIO'nun birbirinden bağımsız iki adet eş salındırıcılı magnetleri..... | 59 |
| Şekil 6.3. Pompa sonda ve foton eko çalışmaları için kullanılan deney odası..... | 60 |

| Şekil | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 6.4. Düşük sıcaklıkta pompa sonda ölçümlerinin spektral dağılımı..... | 61 |
| Şekil 6.5. HZDR laboratuvarının şematik şekli..... | 62 |
| Şekil 6.6. THz radyasyonunun SEL’den elde edilmesinin şematik gösterimi..... | 64 |
| Şekil 6.7. T=10 K’ de farklı dalgalı boyları için kaydedilen pompa sonda gecikmeleri | 65 |
| Şekil 6.8. Deneyde kullanılan düzenek..... | 66 |
| Şekil 6.9. Bozunum zamanlarının pompa şiddetine bağıllığı..... | 66 |
| Şekil 6.10. Sonda gecikmesi..... | 67 |
| Şekil 6.11. Örnek-1’in T=4K’de 3.8 (siyah), 12.6 (kırmızı), 52 (mavi) MW/cm ² pompa yoğunluklarına karşılık gelen iletim değişiklikleri..... | 70 |
| Şekil 6.12. Örnek-2’in T=4K’ de 12.5 (siyah), 43.9 (kırmızı), 138 (mavi) MW/cm ² pompa yoğunluklarına karşılık gelen iletim değişiklikleri..... | 70 |
| Şekil 6.13. 290 K’de 3.1 ve 3.47 µm’de yapılan deneylerde spin gevşeme zamanı 1ps civarında olarak ölçülmüştür..... | 71 |
| Şekil 6.14. FELIX pompa sonda deney düzeneği..... | 72 |
| Şekil 6.15. Bir gözenekli silikon tabakanın 10 K’deki kızılötesi iletim spektrumu..... | 73 |
| Şekil 6.16. Si-H, SiH ₂ ve O ₃ Si-H titreşimlerinin pompa sonda ölçümleri..... | 73 |
| Şekil 6.17. FELSUT’un şematik görünümü ve MIR-SEL ile FIR-SEL demet hattı..... | 75 |
| Şekil 6.18. Pompa sonda deney düzeneği..... | 76 |
| Şekil 6.19. FELSUT’ta ki pompa sonda deney odası..... | 76 |
| Şekil 6.20. IR ns zaman çözünürlüklü pompa sonda çalışmaları için kurulan deney düzeneği..... | 77 |
| Şekil 6.21. Myoglobin-CO diyagramı..... | 78 |

| Şekil | Sayfa |
|--|--------------|
| Şekil 6.22. Poly(vinyl alcohol)(PVA) içindeki Mb-CO'in A_0 ve A_1 durumlarının Standford SEL'den elde edilen MIR sinyalleri ile ölçülen titreşimsel gevşemelerinin pompa sonda eğrileri..... | 78 |
| Şekil 6.23. Deneyde kullanılan pompa sonda düzeneği..... | 79 |
| Şekil 6.24. a) Farklı zaman gecikmelerinde manyetik alan fonksiyonuna bağlı olarak oluşan FIR sonda atması | 81 |
| b) Siklotron etkin kütlesi ortalamasınının zaman gecikmesine bağlı olarak değişim grafiği..... | 81 |
| c) Toplam taşıyıcı saçılma yoğunluğunun zaman gecikmesine bağlı olan değişim grafiği..... | 81 |
| d) Ortalama taşıyıcı saçılma zamanınının gecikmesine bağlı olan değişim grafiği..... | 81 |

SİMGE VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ve birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Simgeler | Açıklama |
|---------------------------|---------------------------|
| A | Amper |
| AC | Alternatif akım |
| AgGaSe₂ | Gümüş galyum selenid |
| Å | Angstrom |
| AlAs | Alüminyum arsenid |
| AlAsSb | Alüminyum arsenid antimon |
| AlGaAs | Alüminyum galyum arsenid |
| B | Manyetik alan |
| BaF₂ | Baryum Fosfat |
| CaF₂ | Kalsiyum Fosfat |
| CdTe | Kadmiyum tellur |
| CO₂ | Karbondioksit |
| CsI | Sezyum iyodide |
| DC | Doğru akım |
| Er | Erbiyum |
| eV | Elektron volt |
| fs | Femto saniye |
| GaAs | Galyum arsenid |
| GaP | Galyum fosfat |

| Simgeler | Açıklama |
|----------------------|---------------------------------|
| GaSe | Galyum selenid |
| Ge | Germanyum |
| Ge:Ga | Germanyum-Galyum |
| GeV | Giga elektron volt |
| GHz | Giga hertz |
| He | Helyum |
| HF | Hidrojen Florür |
| HgCdTe | Civa kadmiyum tellur |
| HgTe | Civa tellur |
| Hz | Hertz |
| Ho:YLF | Holmiyum yitriyum lityum florür |
| InAs | Indiyum arsenid |
| InGaAs | Indiyum galyum arsenid |
| InMnAs | Indiyum mangan arsenid |
| J | Joule |
| K⁰ | Kelvin |
| K | Şiddet çarpanı |
| keV | Kilo elektron volt |
| kHz | Kilo hertz |
| KRS-5 | Talyum bromid |
| KTP | Potasyum titanyum fosfat |
| kV | Kilo volt |

| Simgeler | Açıklama |
|-------------------------|----------------------------------|
| kW | Kilo watt |
| LiBH₄ | Lityum boro hidrid |
| LN₂ | Sıvı Azot |
| mA | Miliamper |
| Mb-Co | Myoglobin |
| MeV | Mega elektron volt |
| meV | Mili elektron volt |
| MHz | Mega hertz |
| mJ | Mili joule |
| mm | Milimetre |
| mrاد | Miliradyan |
| ms | Milisaniye |
| MV | Mega volt |
| MW | Mega watt |
| Nd | Neodmiyum |
| Nd:YAG | Neodyum yitrium alüminyum garnet |
| Nd:YLF | Neodyum yitrium lityum florid |
| nJ | Nanojoule |
| nm | Nanometre |
| ns | Nanosaniye |
| nV | Nanovolt |
| OH- | Hidroksit |

| Simgeler | Açıklama |
|--|-------------------------------|
| pC | Piko Coloumb |
| ps | Pikosaniye |
| PVA | Poly vinyl alcohol |
| s | Saniye |
| Si | Silisyum |
| THz | Tera Hertz |
| Ti:safir | Titanyum Safir |
| W | Watt |
| Y₂Al₅O₁₂ | Yitrium Alüminyum Garnet |
| ZnGeP₂ | Çinko germanyum fosfat |
| ZnSe | Çinko selenide |
| λ_u | Salındırıcı magnet periyodu |
| Ø | Düşük iş fonksiyonu |
| μA | Mikro amper |
| μm | Mikro metre |
| μs | Mikro saniye |
| μJ | Mikro joule |
| Kısaltmalar | Açıklama |
| AM | Genlik Modülasyonu |
| AOM | Akusto Optik Modülatör |
| ATR | Zayıflatılmış Toplam Yansıtma |

| Kısaltmalar | Açıklama |
|--------------------|---|
| CERN | Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi |
| COIL | Kimyasal Oksijen İyodin Lazeri |
| CLIO | Orsay'daki Kızılötesi Lazer Merkezi |
| DFG | Fark Frekans Üretimi |
| DFM | Fark Frekans Karıştırıcı |
| DPT | Devlet Planlama Teşkilatı |
| ELBE | Yüksek Parlaklık ve Düşük Emittanslı Doğrusal Elektron Hızlandırıcısı |
| FEL-PAS | Foto Akustik Spektroskopi |
| FELIX | Kızılötesi Çalışmalar için Serbest Elektron Lazeri |
| FELSUT | Tokyo Bilim Üniversitesi Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri |
| FIR | Uzak Kızılötesi |
| FIR-SEL | Uzak Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri |
| FM | Frekans Modülasyonu |
| FTICR | Fourier Dönüşüm İyon Sklotron Rezonansı |
| FTIR | Fourier Kızılötesi Dönüştürücü |
| HZDR | Dresden Rossendorf Helmholtz Merkezi |
| IR | Kızılötesi |
| IR-SEL | Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri |
| IR-MALDI | Infrared Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization |

| Kısaltmalar | Açıklama |
|--------------------|---|
| IR-MAPLE | Infrared Matrix Assisted Pulsed Laser Evaporation |
| IR-REMPI | Infrared Resonance Enhanced Multiphoton Ionization |
| LİNAK | Doğrusal Hızlandırıcı |
| LWP | Uzak Dalgaboyu Geçirici |
| MBE | Moleküler Demet Epitaksi |
| MCT | Mercury Kadmiyum Tellur |
| MIR | Orta Kızılötesi |
| MOVPE | Metalorganic Vapor Phase Epitaxy |
| MPD-ICR | Multifoton Dağılımı İyon Siklotron Rezonansı |
| Nİ | Normaliletken |
| NIR | Yakın Kızılötesi |
| OPA | Optik Parametrik Yükseltici |
| PPT | Pompa Sonda Tekniği |
| RF | Radyo Frekans |
| SASE | Kendiliğinden Genlik Artımlı Yayınım |
| SEL | Serbest Elektron Lazeri |
| SFG | Toplam Frekans Üretimi |
| Sİ | Süperiletken |
| TARLA | Ankarada'ki Türk Hızlandırıcı ve Radyasyon Laboratuvarı |
| THM | Türk Hızlandırıcı Merkezi |

Kısaltmalar**Açıklama****THM IR SEL**

Türk Hızlandırıcı Merkezi Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri

TRCR

Zaman Çözünürlüklü Siklotron Rezonansı

YUUP

Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslararası Proje

1. GİRİŞ

21.Yüzyılın en önemli jenerik teknolojilerinden biri olan parçacık hızlandırıcıları, temel parçacık fiziğinden moleküler biyolojiye, nükleer fizikten tıpa, izotop üretiminden gıda sterilizasyonuna, enerji üretiminden anjiyografiye, malzeme biliminden savunma sanayisine, polimer kimyasından arkeolojiye kadar bilim ve teknolojinin yüzlerce alanında kullanılmaktadır [1].

Son zamanlarda; doğrusal hızlandırıcılarda hızlandırılarak görelî hale getirilen elektron demetinin salındırıcı magnetlerle yüksek akı, parlaklık değerlerine sahip, tek dalgaboylu ve eş fazlı ışınım elde edilmesi ilkesine dayalı ışınım kaynakları yaygınlaşmaktadır. Bu ışınım kaynaklarına Serbest Elektron Lazeri (SEL) adı verilmektedir. Dünyada FELSUT (Japonya), FELIX (Hollanda), CLIO (Fransa) gibi doğrusal hızlandırıcıya dayalı kızılötesi serbest elektron lazeri (IR SEL) üreten ve HZDR (Almanya) gibi süperiletken doğrusal hızlandırıcıya dayalı SEL üreten bir çok merkez bulunmaktadır. Bu merkezlerde IR SEL kullanılarak birçok alanda araştırmalar yapılmaktadır.

Devlet planlama teşkilatı (DPT) tarafından desteklenen, Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde toplam 11 üniversitenin katılımı ile yürütölen YUUP (Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslararası Proje) projesi kapsamında kurulması planlanan Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM) IR SEL tesisi süperiletken doğrusal hızlandırıcıya dayalı ışınım kaynağı olarak ölkemizde bir ilk olacaktır. Bu laboratuvar malzeme bilimi, nanoteknoloji, fotokimya, doğrusal olmayan optik, atom ve moleköl fiziğı, biyoloji, kimya gibi bir çok alanda çalışan araştırmacılar için modern bir araştırma ve geliştirme ortamı sağlayacaktır [2].

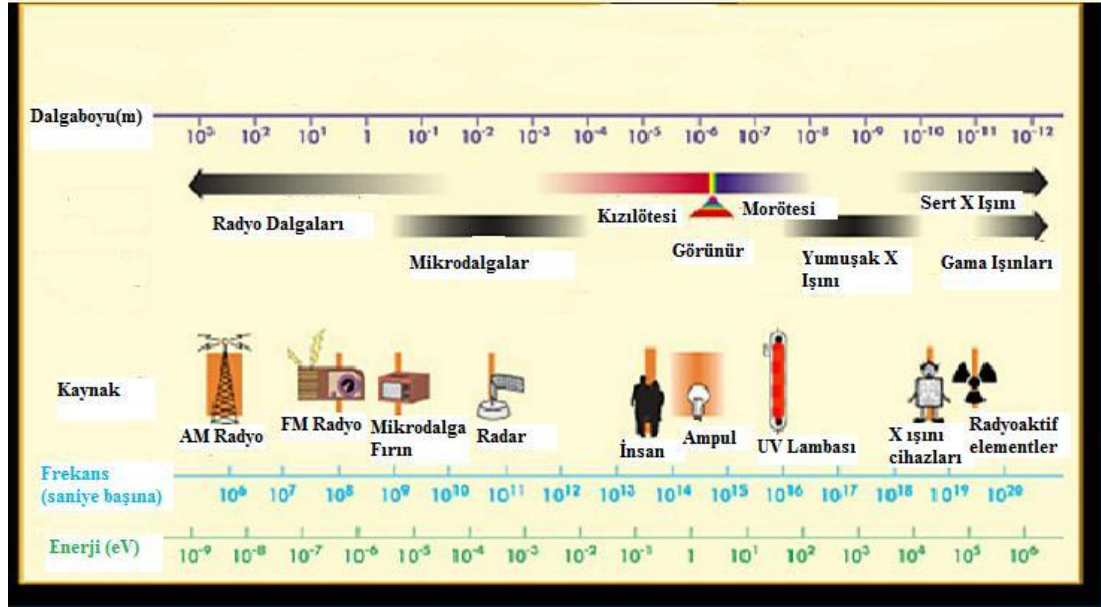
Bu tez çalışması kapsamında; Türkiye’de kurulması planlanan süperiletken doğrusal hızlandırıcıdan elde edilecek, kızılötesi (IR) bölgede 2.5-250 µm dalgaboyu aralığındaki ışınım ile doğrusal olmayan optik laboratuvarında kullanılacak tekniklerden biri olan Pompa Sonda Tekniğı anlatılmaktadır. THM kapsamında kurulacak ilk tesis olan TARLA’da ki (Ankara’da ki Türk Hızlandırıcı ve Radyasyon

Laboratuarı) bu doğrusal olmayan optik laboratuvarının tasarımı ve özellikleri bu çalışmada ele alınmaktadır.

Son olarak bu tez çalışmasında, TARLA doğrusal olmayan optik laboratuvarında yapılabilecek deneyler için uygun olabilecek, dünyada IR SEL kullanılarak yapılan pompa sonda çalışmaları ve bu çalışmalarda kullanılan deney aletleri detaylı olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda dünyada, THM IR SEL demet parametrelerine uygun parametrelere sahip olan CLIO (Fransa), FELIX (Hollanda), HZDR (Almanya), FELSUT (Japonya) gibi merkezler ve bu merkezlerde yapılan pompa sonda çalışmaları incelenmektedir.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1. Elektromanyetik Spektrum ve Kızılötesi Bölge



Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik spektrum, elektromanyetik ışımının enerjisine veya eşdeğer olarak frekansına veya dalgaboyuna göre sınıflandırılmaktadır. Spektrumda yer alan ışınlar enerjinin artış yönüne göre; radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi bölge, görünür bölge, morötesi bölge, x ışınları ve gama ışınları olarak sıralanmaktadır. Şekil 2.1’de elektromanyetik spektrumdaki ışınların dalgaboyları, frekansları ve enerjileri görülmektedir.

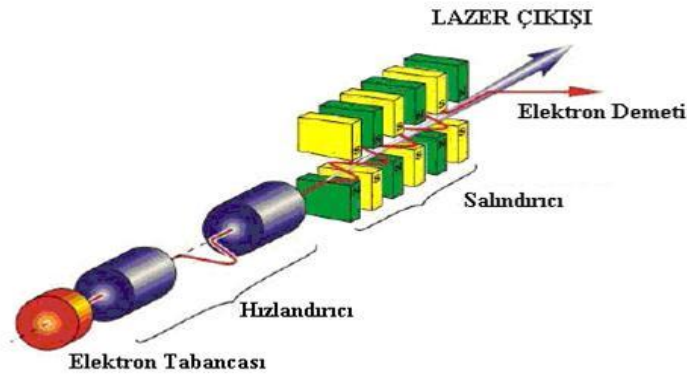
Spektrumun 1-1000 μm arasında dalgaboyuna sahip bölgesi kızılötesi bölge olarak adlandırılmaktadır. Kızılötesi bölge de yakın kızılötesi (NIR), orta kızılötesi (MIR) ve uzak kızılötesi (FIR) bölge olarak üç kısımda incelenmektedir.

NIR bölge 1-2.5 μm arasındaki bölge olup, bu bölgede atomların titreşim hareketleri incelenmektedir. MIR bölge 2.5-50 μm arasındaki bölgedir ve bu bölge parmak izi bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Titreşim spektroskopisinin en yoğun olarak

kullanılan bölgesidir. FIR bölge, 50-1000 μm arasındaki bölgedir ve moleküllerin saf dönme enerjileri bu bölgede çalışılmaktadır [2].

2.2. SEL'nin Elde Edilmesi

Serbest elektron lazeri elde edebilmek için bir elektron kaynağı (elektron tabancası), bu elektron kaynağından çıkan elektronları sıkıştırmak için paketleyici, paketlenmiş elektronları rölativistik hızlara çıkarabilecek bir hızlandırıcı, hızlandırılan bu elektronların salınım yapmasını sağlamak için bir salındırıcı ve oluşacak ışınımı yönlendirmek için optik kaviteye ihtiyaç duyulmaktadır [3].



Şekil 2.2. SEL'in elde edilmesini sağlayan kısımlar

2.2.1. Elektron tabancası

Elektron demetlerini üreten, odaklayan, kontrol eden ve saptıran yapılara elektron tabancası denmektedir ve anot ile katot olmak üzere iki elektrottan meydana gelen elektronik sistemlerdir. Elektron tabancaları, elektronları yayma şekillerine göre termiyonik ve fotokatot tabanca olarak iki şekilde incelenmektedir [4]. THM'nin ilk tesisi olan TARLA'da termiyonik DC tabanca kullanılacaktır ve bu tabancanın üretimi Ankara'da yapılmaktadır.

termiyonik tabanca

Termiyonik tabanca, elektronların oluşturulduğu katot, elektronları odaklayan Wehnelt silindiri ve anottan oluşmaktadır. Katot ısıtıldığı zaman, elektronlar bağlı oldukları atomu bırakmaktadırlar. Katottan sökülme için ısı enerjisi alan elektronlar harekete başlarken yüzeye belirli açılar yapan hız bileşenlerine sahip olurlar. Bu hız bileşenlerine bağlı olarak elektronların kinetik enerjisi, belirli bir zaman aralığında yüzey boyunca yapılan işe eşit olmaktadır. Bu minimum enerji, 'iş fonksiyonu' olarak bilinmektedir.

Verilen herhangi bir $T(^{\circ}K)$ sıcaklığında yüzeyden yayınlanan elektronların maksimum akım yoğunluğu Richardson-Dushman denklemi ile verilir :

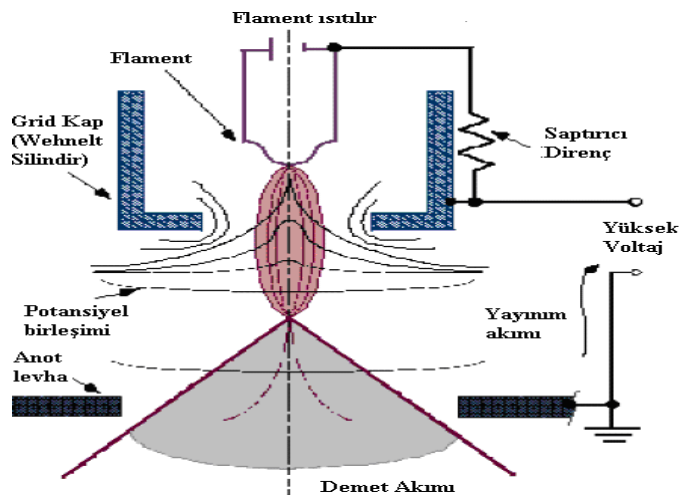
$$J = B_0 \cdot T^2 \cdot e^{(-\Phi / kT)} \text{ [Amper/cm}^2\text{]} \quad (2.1)$$

B_0 (Richardson-Dushman Sabiti) = $120 \text{ Amper cm}^{-2} \text{ K}^{-2}$

k (Boltzmann Sabiti) = $1.371 \times 10^{-23} \text{ Joule /Kelvin}$

Φ = İş fonksiyonu (eV)

T = Sıcaklık (Kelvin)



Şekil 2.3. Termiyonik tabanca düzeneği

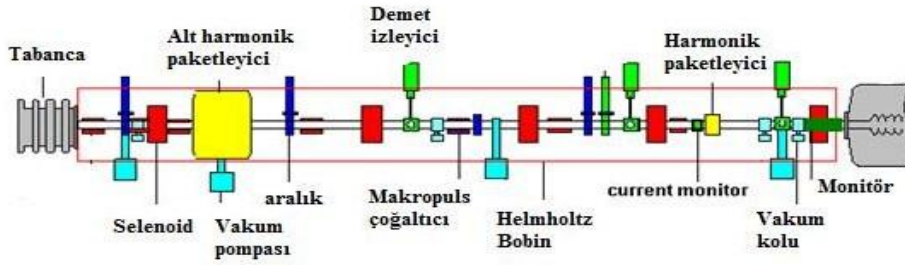
Burada katot yani filament, yayılan birçok elektron için, ϕ düşük iş fonksiyonuna bağlı, yüksek erime noktalı malzemelerden yapılmıştır. Anot ise, pozitif yüklü metal plakadır. Sistem içerisinde anot, elektron demetini kendine doğru hızlandırmaktadır.

Termiyonik tabancanın işleyiş şekline göre, pozitif elektriksel potansiyel anoda, negatif potansiyel Wehnelt silindirine uygulanmaktadır. Wehnelt silindiri, yönlendirici kılavuz kabıdır ve potansiyelde filamentten (katot) birkaç yüz volt farklı olmaktadır. Katottan (filamentten) çıkan elektronlar, pozitif potansiyelli anot tarafından dışarıya doğru hızlandırılmaktadır. Bu elektronlar anodun etkisiyle dışarıya doğru hareket ederken negatif potansiyelli Wehnelt silindiri ile ortaya doğru odaklandırılmaktadır. Bu durumun sonucunda elektronlar Wehnelt silindiri ile filament (katot) ucu arasında birikmektedir. Buna uzay yükü denmektedir. Uzay yükünün altındaki elektronlar anota yakın bölgede olduğundan Wehnelt silindirinin ucundaki çıkış noktasından çıkarak tabanca alanını terk etmektedir [3-4].

2.2.2. Paketleyici

Elektron tabancasından çıkan elektron demeti, sıkıştırılarak etkin bir şekilde hızlandırılmak için alt harmonik paketleyici adı verilen RF oyuqlara aktarılmaktadır. Paketleyici, elektron tabancasından çıkan elektron demetini paketlemekte, frekans değerini artırarak dalga boyunu küçültmekte ve demeti hızlandırmaktadır.

Alt harmonik paketleyiciden çıkan paketçikler daha yüksek frekans değerlerine çıkmak için ana paketleyiciye girmektedir. Ana paketleyiciler, alt harmonik paketleyicilerden daha yüksek RF frekansına sahiptir ve elektron demetlerinin yayınımlarını daha da küçülterek paketçiği sıkıştırmaya çalışmaktadır. Dolayısıyla sıkışan paketçiklerin hızları bir miktar daha artmaktadır. Daha sonra elektronlar artan hızları ile doğrusal hızlandırıcıya girmektedir [3].



Şekilde 2.4. Alt harmonik paketleyici ve harmonik paketleyici

2.2.3. Hızlandırıcı

Ana paketleyiciden çıkan elektron paketçikleri rölativistik hızlara çıkmak için doğrusal hızlandırıcılarda hızlandırılmakta ve bu hızlara ulaştıktan sonra hızlandırıcı yapılarından çıkarak optik kaviteye giriş yapmaktadır.

Işık hızlarına yakın hızlarda hareket eden elektronlar ve diğer parçacıklar için olan doğrusal hızlandırıcılar özel bir dalga kılavuzu içinde hareketli bir elektro magnetik dalga kullanmaktadır. Elektronlar dalganın tepesinde bir okyanus dalgasının üzerindeki sörfçü gibi hareket etmektedir.

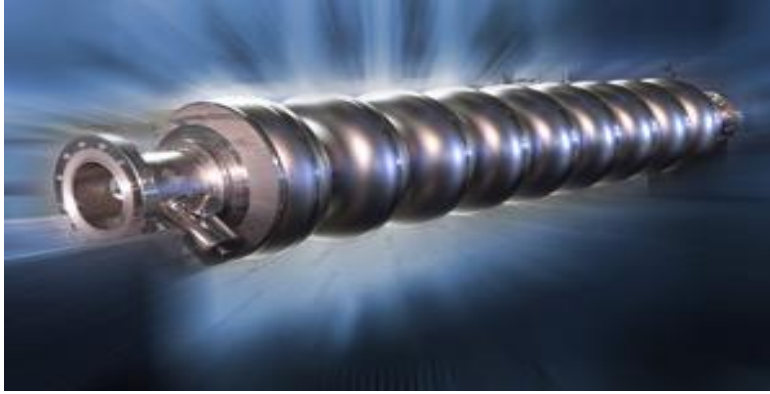


Şekil 2.5. Elektronlar ve hareket ettirici dalga arasındaki etkileşim

Işık hızından daha yavaş hareket eden parçacıklar için değişik bir yapıya ihtiyaç

duyulmaktadır. Çünkü dalga hızı parçacıkların basamakta kalmalarını sağlamak için yeterli derecede düşürülememektedir. Bu durumda parçacıkları yavaşlatma alanlarında korumak için sürüklenme tüpleri kullanılmaktadır.

Doğrusal hızlandırıcıların süperiletken (Sİ) ve normaliletken (Nİ) olmak üzere çeşitleri bulunmaktadır. Sİ kavite teknolojisi, hızlandırıcılarda ihtiyaç duyulan gücü azaltmak için kullanılmaktadır. Sİ hızlandırıcılar çok düşük öz dirence sahip olduğundan RF güç kayıpları çok düşük olmaktadır.



Şekil 2.6. Dokuz hücreli TESLA RF kavite

RF alanı kullanan Sİ hızlandırıcılarda, atmalar mikro paket yapısında olduğundan düşük pik akımı oluşmaktadır. Hızlandırılmış elektronların paketçik yükü de düşük değere sahip olmaktadır.

Sİ hızlandırıcılarda yüzey direnci çok küçük olduğundan, RF güç kayıpları neredeyse sıfırdır ve hızlandırma gradyeni 10MV/m ile 20MV/m mertebesindedir. Nİ hızlandırıcılarında yüzey direnci yüksek değerlerde olduğundan kavite içerisinde yüksek RF güç kaybından dolayı, kavite içerisine belirli aralıklar ile RF alanı pompalanmakta ve atmalı mikro paketçik yapıda elektron demeti hızlandırılmaktadır. Bundan dolayı, hızlandırıcı gradyeni 50MV/m mertebesine kadar çıkabilmektedir. Nİ hızlandırıcılarda RF oyuğu içerisinde RF varlığı 10 μ s ile sınırlı olduğundan sadece bu süre içerisinde makro paketçikler hızlandırılabilir. Daha sonraki 0,1s boyunca tekrar RF dolması beklenmekte ve bu 0,1s boyunca hızlandırma

yapılamamaktadır. Bu hızlandırıcılar, atmalı mikro paketçik yapısında çalıştığından yüksek değerlerde pik akımı oluşturmaktadır. Ancak az sayıda paketçik hızlandığından dolayı, ortalama akım düşük olmaktadır.

Sİ hızlandırıcılarında, atmanın tekrarlama oranı 13MHz iken, Nİ hızlandırıcılarında ise 1GHz olmaktadır. Bu yüzden Sİ hızlandırıcılarında elde edilen lazerin ortalama gücü Nİ hızlandırıcılarından elde edilen lazerden yaklaşık 100 kat daha fazla olmaktadır.

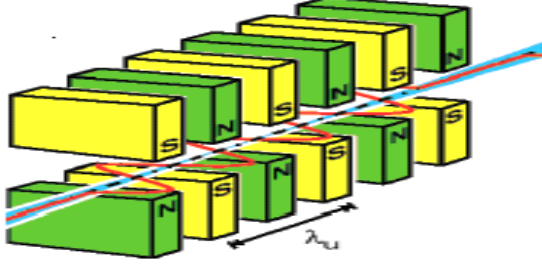
Çizelge 2.1. Sİ ve Nİ hızlandırıcıların karşılaştırılması

| PARAMETRELER | | SÜPER İLETKEN | NORMAL İLETKEN |
|--------------------------|---------|---------------|----------------|
| Çalışma Frekansı | MHz | 1300 | 3000 |
| Paket Tekrarlama Oranı | MHz | 13-260 | 1000 |
| Atma Uzunluğu | μ s | Sürekli | 10 |
| Atma Aralığı | s | Sürekli | 0.1 |
| Ortalama Akım | mA | 1 | 0.02 |
| Paket Boyu | ps | 0.5-10 | 4 |
| Demet Gücü | kW | 40 | 0.8 |
| Toplam Elektrik İhtiyacı | kW | 600 | 210 |

[3,5]

2.2.4. Salındırıcı (Undulator)

RF bölgesi kullanılarak yüklü parçacıklar hızlandırıldıktan sonra salındırıcı veya zigzaglayıcı yapılardan geçirilerek yüksek güç ve parlaklıklı, monokromatik, koharent foton demetleri elde edilmektedir.



Şekil 2.7. Bir undulator örneği

Undulatorler, hassas ışınım dalgalanması (titreşimi) oluşturmak için kullanılan, kutupları arasında sinüsel bir manyetik alan oluşturan ve fazla güçlü olmayan magnetler olarak tanımlanmaktadır. Bu magnetlerde, ışın konileri üstüste biner ve birbirleriyle girişime uğrarlar; bu sebeple ışınımın belli dalgaboyları 10^5 kez güçlendirilmektedir.

Magnetlerin her biri zıt kutuplu olarak karşılıklı dizilmekte ve g gap aralığı ile birbirinden ayrılmaktadır. Bu kutuplar elektron demetinin daha az sapmasını sağlamaktadır. Magnetlerin bileşenleri arasındaki aralık (g) değiştirilerek elde edilen ışınımın dalgaboyu değiştirilebilmekte ve böylece ışınım özel dalgaboyu değerlerine ayarlanabilmektedir. Salındırıcıya gelen elektron demeti, içinde vakum bulunan bir yolda ilerlemektedir.

Salındırıcının şiddeti elde edilecek lazerin dalga boyunu doğrudan etkilemektedir. Bir salındırıcı için şiddet çarpanı (K),

$$K = \frac{eB\lambda_u}{2\pi mc}$$

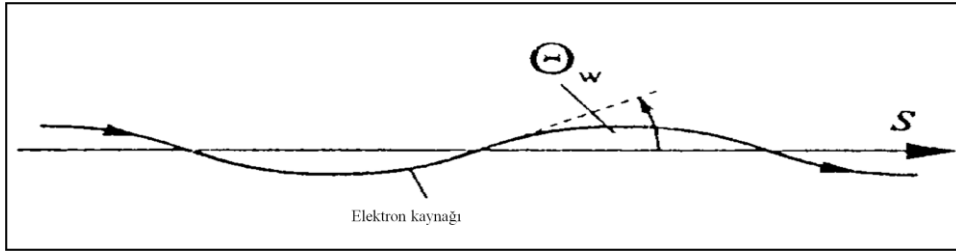
(2.2)

B : magnetik alan
e : elektronun yükü
m : elektronun kütlesi
c : ışık hızı
 λ_u : salındırıcı periyodu

Burada $K \ll 1$ için, elektronun titreşim hareketinin genliği küçük ve radyasyon dar enerji bantları boyunca girişim desenleri sergilemektedir. Eğer $K \gg 1$ ise elektronun titreşim genliği büyük ve elektronlar kararlı bir yörünge izleyememektedir [2,3,6].

Elektronlar salındırıcı magnette s eksenini boyunca yol alırken yatay salınım hareketini indükleyen alan ile karşılaşmaktadır. Söz konusu manyetik alan, boyuna hız bileşeninde periyodik bir değişime neden olmaktadır. Bu durum parçacığın s eksenini boyunca olan hız bileşeni ile birleştiğinde yatay eksen yönünde eğilmelere neden olmaktadır.

Parçacığı ideal yörüngesinde tutacak olan maksimum açı ; θ_w 'dir.



Şekil 2.8. Parçacığın magnet içindeki hareketi

Salındırıcı magnet içerisindeki parçacık yörüngesi:

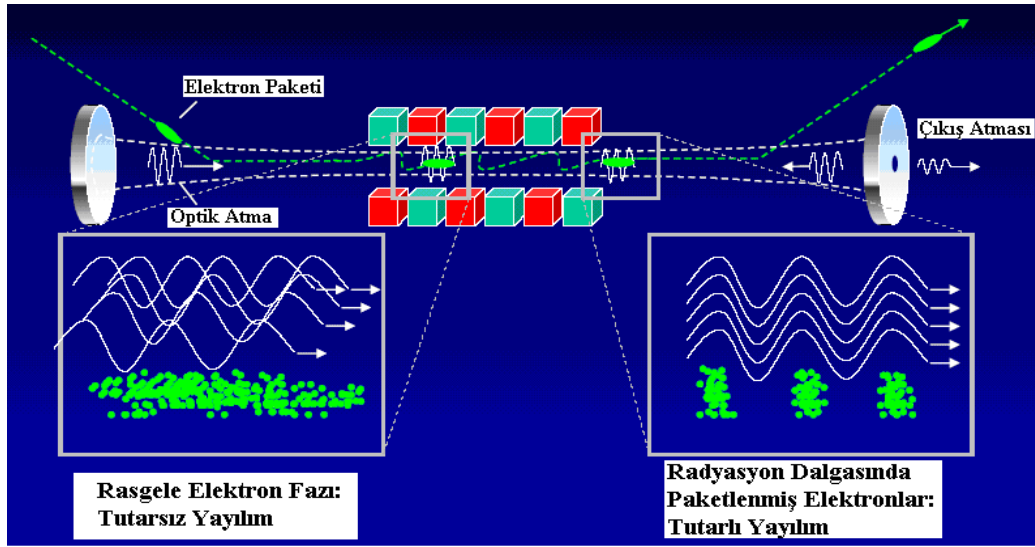
$$\theta_w = \frac{K}{\gamma} \quad (2.3)$$

$K=1$ olan bir zigzaglayıcı ya da salındırıcı magnet içerisinde $\theta_w = 1/\gamma$ 'dır. Bu aslında sinkrotron ışınımının doğal yayılma açısı olarak bilinmektedir.

Salındırıcı magnetlerde eğicilik çok zayıftır, bu sebeple çok küçük bir yayılma açısı ile bütün ışımaya neredeyse paralel olmaktadır.

2.2.5. Optik kavite (Ayna sistemi)

Bir optik kavite, kazanç ortamının iki ucuna yerleştirilen eğim yarıçapları belli iki aynadan oluşmaktadır. Optik kavite içerisinde lazer dalgası iki küresel ayna arasında pek çok kez yansıtılmakta ve lazer dalgası ile elektron demeti arasında enerji alışverişi gerçekleşmektedir. Bu enerji alışverişi sonunda koharent ışımaya meydana gelmektedir [7].



Şekil 2.9. Elektron paketçikleri ile elektromagnetik alan arasındaki etkileşim

SEL'in yüksek verimlilikte ve kaliteli özellikte olması için, optik kayıpların çok küçük olması gerekmektedir. Bu, optik demet ile elektron demetinin birbirleriyle iyi örtüşmesi ve tekrarlama frekansına bağlı olarak değişen kavite uzunluğunun (L) iyi ayarlanması ile olmaktadır.

Optik kavite içerisinde kazanılan radyasyonun bir kısmının, yarı saydam yapılan aynalardan biri tarafından dışarıya çıkmasına izin verilmektedir. Burada ayna saydamlığı iyi ayarlanmaktadır. Öyle ki yansıma ya da soğurma ile optik kavitenin toplam güç kayıpları güç kazancını geçmemektedir [8].

Yansıtıcılık ve geçirgenlik özelliklerini istenilen değerlerde elde etmek için ayna malzemesi ve kaplaması önemli yer tutmaktadır. Ayna malzemesi genelde Altın veya gümüş ile kaplanmış bakır, silisyum olarak seçilmektedir [3].

Hemen hemen bütün SEL osilatörlerde zaman içinde ayna deformasyonu gözlenmektedir. Metal aynalar üzerinde oluşan deformasyonlar yüksek SEL gücünden kaynaklanmaktadır. Son zamanlarda ayna deformasyonlarının üstesinden gelebilmek için, çok katmanlı aynalarda aynaların üretiminde iyon katkılama teknolojisi kullanılmaktadır. Ayrıca bu katmanlar ısısal hasardan kaçınmak için safir üzerine katkılanabilmektedir. Metal aynalarda daha dirençli bir yüzey tabakası ve alt tabaka seçilmeli ve kullanılmalıdır. En iyi çözümün (kırmızıaltı bölgede) saf bakır, gümüş ya da altının bakır ya da molibden üzerine katkılanması olduğu görülmektedir [9].

2.3. Serbest Elektron Lazeri (SEL)

Elektron demeti içindeki elektronlar, salındırıcı içine girdikten sonra salındırıcı magnetlerinin oluşturduğu manyetik alan ile ivmelenmekte ve bunun sonucunda radyasyon yaymaktadır. Bu şekilde SEL oluşturulmaktadır.

SEL'de enerji alışverişleri sınır elektronun kuantum geçişleri ile değil bir manyetik alan içinde serbestçe salınan bir elektron demetindeki elektronlar ile ortam arasında gerçekleşen manyetik etkileşmeler aracılığı ile olmaktadır. Atomik enerji seviyeleri ile herhangi bir bağımlılık olmaması sebebiyle SEL çok geniş bir dalga boyu aralığını kapsamaktadır.

λ_u salındırıcı magnet periyodu, K undulatörün kuvvet parametresi ve elektron demetinin Lorentz faktörü olmak üzere elde edilen serbest elektron lazerinin dalgaboyu:

$$\lambda_r = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right) \quad (2.4)$$

Burada salındırıcı magnet için kuvvet parametresi, B_0 undulator kutupları arasındaki magnetik alanın maksimum değeri olmak üzere, pratik birimler cinsinden;

$$K = 0.934B_0(T)\lambda_u(cm) \quad (2.5)$$

şeklinde bulunmaktadır [10].

Serbest elektron lazeri diğer klasik lazerlerle karşılaştırıldığında serbest elektron lazerlerinin birçok önemli avantajı olduğu görülmektedir. Geniş bir dalgaboyu aralığında hassas bir şekilde ayarlanabilir olması bu avantajlardan biridir. SEL ışınımının dalgaboyu, manyetik alanın veya elektron enerjisinin değiştirilmesi ile ayarlanmaktadır. Tek bir hızlandırıcı ve çoklu salındırıcılar kullanarak ışınım geniş bir alanda ayarlanabilir olmaktadır [11].

Kısa atmalara sahip olması SEL' in önemli avantajlarından bir başkası olmaktadır. Pikosaniye (ps) hatta femtosaniye (fs) mertebelerinde atma elde edilebilmektedir. Ayrıca bu lazerlerden diğer klasik lazerlerin 3-4 katı kadar parlaklık elde edilmektedir.

Serbest elektron lazerlerinin önemli avantajlarından bir diğeri ise kısa dalga boylarına sahip olmaları ve yüksek güçler üretebilmeleridir. Bu lazerler ile uzun ve sürekli olarak çalışma olanağı fazla olmaktadır. Oysa klasik lazerlerin çalıştırılmasında belirli bir güç sınırı bulunmaktadır. Bu sınır aşıldığı zaman lazer ısınmakta ve bozulmaktadır. Bu lazerlerde ise herhangi bir sınır bulunmamaktadır. Örneğin kimyasal oksijen iyodin (COIL) lazerler yüksek güce sadece 10 dakika boyunca ulaşmaktadır. Bu süre aşılnca lazer bozulmaktadır. IR- SEL' ler ile ise yılda 2000 saat çalışma süresine ulaşılmaktadır [12].

Serbest elektron lazerinin ayarlanabilirlik, yüksek pik gücü, yüksek parlaklık ve kısa atmalar üretmesi gibi bütün bu avantajları bu lazerlerin kullanıcı potansiyelini arttırmaktadır.

SEL'nin avantajlarını maddeler halinde özetlersek:

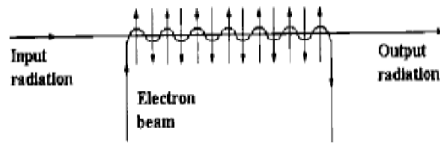
- Ayarlanabilir dalgaboyu
- Geniş dalgaboyu aralığı: NIR' dan FIR bölgesine kadar
- Atma yapısı: ps mertebesinde
- Ortalama parlaklığı: $\sim 10^{16}$ (foton / (mrad² mm² % 0.1bg))
- Yüksek pik gücü: MW mertebesinde
- Ortalama güç: $\sim W$ mertebesinde [13]

2.3.1 SEL Çeşitleri

Prensiplerine göre üç çeşit serbest elektron lazeri bulunmaktadır.

- Yükselteç SEL
- SASE SEL
- Osilatör SEL

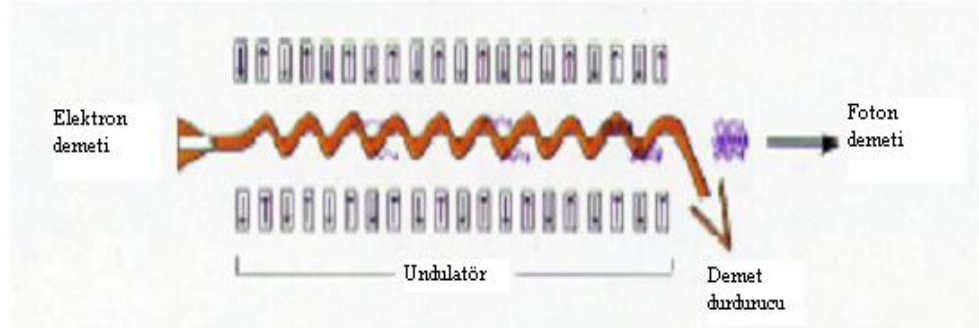
Yükselteç SEL:



Şekil 2.10. Yükselteç SEL oluşumu

Bu sistem ışınının dışarıdan verilen başka bir ışınım ile güçlendirilmesi prensibine dayanmaktadır.

SASE SEL:



Şekil 2.11. SASE SEL oluşumu

Kendiliğinden genlik artımlı yayılım (SASE) modu ile rölativistik elektron demetinin, kutupları arasında sinüsel bir magnetik alan uygulanan salındırıcı magnetten geçerken, kinetik enerjisinin bir kısmını ışımaya yoluyla kaybetmesi sonucu elde edilen serbest elektron lazeridir.

Osilatör SEL:

Elektron hızlandırıcısından elde edilen rölativistik elektron demeti, salındırıcı magnetten geçirildiğinde magnet ekseni boyunca ani salındırıcı magnet ışınması yapmaktadır. Yayılan ışımaya iki ayna arasında tuzaklanarak salındırıcı magnetten sonradan giren elektron paketçikleri ile etkileşime girmektedir. Elektron paketçikleri ile elektron manyetik alan arasındaki etkileşim ışınının dalgaboyunun koherent yapılmasına neden olmakta ve SEL oluşmaktadır [14].

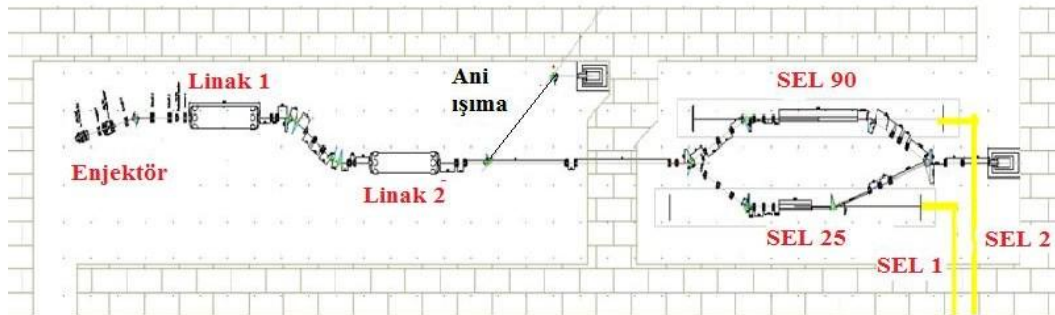
THM projesi kapsamında elde edilecek serbest elektron lazer ışınımı Osilatör SEL'den elde edilecektir.

3. TÜRK HIZLANDIRICI MERKEZİ TARLA TESİSİ VE DENEY İSTASYONLARI

3.1. THM TARLA Tesisi

Devlet planlama teşkilatı (DPT) tarafından desteklenen, Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde toplam 11 üniversitenin katılımı ile yürütülen YUUP projesi kapsamında kurulması planlanan THM TARLA tesisi süperiletken doğrusal hızlandırıcıya dayalı ışınım kaynağı olarak ülkemizde bir ilk olacaktır [15].

TARLA tesisi, 250 keV enerjili tamamı normal iletken enjektör, herbiri 20 MeV/m gradyenli iki süperiletken hızlandırıcı modül, 2.5 cm ve 9.0 cm periyotlu salındırıcı magnetle iki optik kavite sistemi kullanarak 2.5-250 μm aralığında IR SEL elde etmeyi amaçlamaktadır. Işınım için, Ostim, Ankara'da kurulumu devam etmekte olan, yüksek ortalama akıma sahip, elektronları maksimum 300 keV' lik enerjiye hızlandıracak olan DC termiyonik bir elektron kaynağı kullanılacaktır. Ana hızlandırıcıların herbirinin 9 süperiletken TESLA hücreli iki ELBE modulünü içermesi planlanmaktadır. Hedeflenen dalga boyu aralığı olan 2-250 μm bölgesini tarayabilmek için, iki farklı optik ayna (rezonator) sistemi kullanılacaktır. Periyot uzunlukları 2.5 cm and 9 cm olan, salındırıcı magnet sistemlerinde aynalar arası uzaklık 11.53 metredir.



Şekil 3.1. THM TARLA tesisinin şematik gösterimi

THM IR SEL elektron demet parametreleri Çizelge 3.1 ve lazer parametreleri Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. THM IR SEL elektron demet parametreleri

| Parametreler | | |
|------------------------------------|-------|-------|
| Enerji (MeV) | 15-40 | 15-40 |
| Demet yükü (pC) | 80 | 120 |
| Ortalama demet akımı (mA) | 1.0 | 1.6 |
| Demet tekrarlama oranı (MHz) | 13 | 13-26 |
| Demet uzunluğu (ps) | 0.5-8 | 0.6-8 |
| Normalize enine emittans (mm mrad) | < 14 | < 16 |
| Normalize boyuna emittans (keV.ps) | < 40 | < 50 |
| Makroatma süresi (µs) | 10-CW | 10-CW |
| Makroatma tekrarlama oranı (Hz) | 1-CW | 1-CW |

Çizelge 3.2. THM IR SEL parametreleri

| Salındırıcı Magnetler | SEL 25 | SEL 90 |
|----------------------------------|--------|--------|
| Dalgaboyu (µm) | 2.5-30 | 18-250 |
| Mikroatma tekrarlama oranı (MHz) | 13 | 13 |
| Maksimum atma gücü (W) | ~5 | ~2.5 |
| Ortalama güç (W) | 0.1-40 | 0.1-30 |
| Maksimum atma enerjisi (µJ) | ~10 | ~8 |
| Atma uzunluğu (ps) | 1-10 | 1-10 |

[16]

3.2. TARLA Deney İstasyonları

THM TARLA'dan elde edilecek 2.5-250 μm dalgaboyu aralığına sahip ışınının optik düzenekler ile deney odalarına taşınması planlanmaktadır. Merkezde 7 deney odasının olması düşünülmektedir.

Kurulması planlanan 7 deney odasında yapılması öngörülen araştırma ve geliştirme çalışmaları şu şekilde sıralanmaktadır:

- Foton Bilimi
- Malzeme Fiziği
- Yarıiletken Çalışmaları
- Biyoteknoloji ve Medikal Araştırmalar
- Doğrusal Olmayan Optik Çalışmaları
- Nanoteknoloji
- Fotokimya Çalışmaları

Ulaşılabilen kaynaklar ve merkezde çalışılabilecek konular çerçevesinde Türkiye potansiyeli araştırıldığında, THM'de kurulacak üç laboratuvar belirlenmiştir. Birinci laboratuvar lazer diyagnostik ve senkronizasyon odası, ikinci laboratuvar toplam frekans üretimi (SFG) ve pompa sonda çalışmalarının yapılacağı doğrusal olmayan optik laboratuvarı, üçüncü laboratuvar ise IR SEL Spektroskopisi laboratuvarı olarak planlanmaktadır.

İlk laboratuvar olan lazer diyagnostik ve senkronizasyon odasında SEL foton atmalarının süresi, dalgaboyu, tekrarlama oranı, demet kazanç ve kayıp ölçümleri gibi ölçümlerin yapılması planlanmaktadır. Burada ayrıca SEL foton sinyalinin görünür sinyal sayesinde zamanlamasının ölçülmesi ve senkronizasyonun da yapılması düşünülmektedir. Bu ölçümler Ti:safir lazer gibi klasik lazerin de kullanılacağı PPT ve SFG çalışmalarının yapılacağı doğrusal olmayan optik laboratuvarı için oldukça önemli olmaktadır. Çünkü bu çalışmaları gerçekleştirmek için klasik lazer ile SEL'nin birbirine tamamen uyumlu olması gerekmektedir. Bunun

için TARLA'da kullanılacak tüm sinyal frekanslarını üretecek fiber lazer gibi bir merkez osilatör sisteminin elektron tabancası yakınına kurulması düşünülmektedir. Bu fiber lazer zamanlama ve senkronizasyon için gerekli olmaktadır. Fotodedeksiyon kullanılarak RF'e dönüştürülen optik sinyallerin fiber optik kablolar yardımıyla gerekli yerlere taşınması planlanmaktadır. Bu sistemin tek dezavantajı sistemin maliyetinin çok yüksek olması ve sistemin karmaşıklığı olmaktadır.

İkinci laboratuarda, malzeme fiziği ve yarıiletkenlerin araştırılması için IR bölgede yapılan bazı spektroskopik çalışmaların gerçekleştirilmesi düşünülmektedir. Bu teknikler moleküllerin titreşim modları ile ilgili olmaktadır. Parmakizi bölgesi olarak da adlandırılan MIR bölge bu teknikleri yapabilmek için kullanılmaktadır. Bu laboraturda doğrusal olmayan optik çalışmaları gerçekleştirebilmek için SFG ve Pompa Sonda Tekniğinin kullanılması düşünülmektedir.

Üçüncü laboratuar olan IR SEL Spektroskopi laboratuvarında IR, FTIR ve Raman Spektrometreleri kullanılarak, katı, sıvı ve gaz örneklerin titreşim ve dönüş hareketlerinin özelliklerinin araştırılması ile ilgili çalışmaların yapılması planlanmaktadır.

Diğer 4 deney odası kullanım potansiyeli ve kullanıcı ihtiyacına göre şekillendirilecektir. THM IR SEL laboratuvarlarının planı EK-1 ve EK-2'de verilmektedir.

IR SEL kullanılarak bazı tekniklerle de uygulamalar yapılmaktadır. Bu teknikleri sıralarsak:

- Sum Frequency Generation (Toplam Frekans Üretimi)
- Photon Echo Experiment (Foton Yansıma Deneyleri)
- Photoacoustic Spectroscopy (Foto Akustik Spektroskopi - FEL-PAS)
- Pump-Probe Experiments (Pompa Sonda Deneyleri)
- IR-MALDI Tekniği (Infrared Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization)
- IR-MAPLE Tekniği (Infrared Matrix Assisted Pulsed Laser Evaporation)

- IR-REMPI Tekniği (Infrared Resonance Enhanced Multiphoton Ionization)
- Near Field Microscopy (Yakın Alan Mikroskopisi)
- Multifoton Dağılımı / İon-SiklotronRezonans (MPD-ICR)
- Kütle Spektrometresi
- Vibrational Spectroscopy (Titreşim Spektroskopisi)
- Gas-Phase IR Spektroskopisi gibi teknikler sıralanabilir [17,18].

THM TARLA tesisinde bu tekniklerden Toplam Frekans retimi (SFG) ve Pompa Sonda Tekniği (PPT) ile gerekli çalışmaların yapılması planlanmaktadır.

4. MATERYAL ve METOT

4.1. Pompa Sonda Spektroskopisi



Şekil 4.1. Pompa sonda spektroskopisinin kapsadığı zaman birimleri

Spektroskopi, madde ile ışın arasındaki etkileşmeyi inceleyen bilim dalıdır. Bu yöntemle bir örnekteki atom, molekül veya iyonların, bir enerji düzeyinden diğerine geçişleri sırasında soğurulan veya yayılan elektromanyetik ışıma ölçülmekte ve yorumlanmaktadır.

Pompa sonda spektroskopisi, ultra hızlı spektroskopi tekniklerindedir. Ultra hızlı, fs ve ps mertebesinde olan sürece denilmektedir. Maddedeki birçok temel süreç ps zaman aralığının da altında gerçekleşmektedir. Örneğin birçok kimyasal reaksiyon birkaç fs'den birkaç yüz fs'ye kadar kısa bir zaman aralığında olmaktadır [19].

Bu spektroskopi ile malzemede ps veya fs zaman mertebesinde ortaya çıkan ve optik tepkiye neden olan tüm fiziksel mekanizmalar zamana bağlı olarak ölçülebilmektedir. Böylece hem bilimsel olarak malzemenin optiksel tepkisinin aydınlatılması, hem de teknolojik uygulamalar için malzemenin optiksel tepkileri kullanılabilir [20].

Pompa sonda spektroskopisi, fotokimya ve fotofizik ile ilgili moleküllerin, milisaniyeden (ms) fs'ye kadar geniş bir zaman çözünürlüğü aralığında, kısa ömürlü uyarılmış (geçici) durumlarının yapısal ve elektronik özelliklerini karakterize etmek

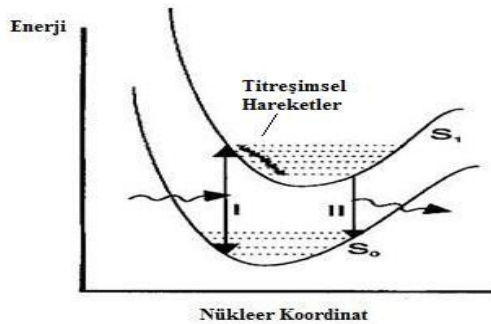
için kullanılmaktadır. Bu durumlara fotonların soğurulması üzerine ulaşılmakta ve aslında daha düşük enerjili temel durumdaki elektronların dağılımı ya da nükleer geometrilerinden farklı olarak, molekülün daha yüksek enerji formları görülmektedir [21].

Şekil 4.2’de temel durumdan uyarılmış hale geçen ve daha sonra kendiliğinden yayınım yaparak tekrar temel duruma dönen bir elektronun elektronik seviyeler arasındaki geçişleri gösterilmektedir [20].



Şekil 4.2. Elektronik seviyeler arası geçişler

Fs pompa sonda spektroskopisi elektronik geçişler için meydana gelen titreşimsel hareketlerin gerçek zamanlı takibine de olanak sağlamaktadır. Ayrıca uyarılmış durumun nükleer dinamikleri hakkında da bilgi edinilebilmektedir [22].



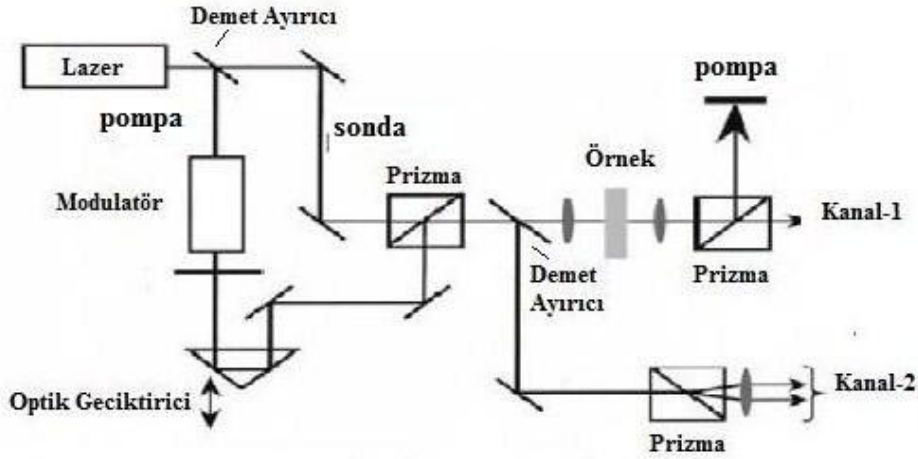
Şekil 4.3. Bir moleküldeki bazı enerji seviyelerinin şematik gösterimi

Şekil 4.3’de kalın çizgiler S_0 temel ve S_1 ilk uyarılmış durumdaki elektronların potansiyelini göstermektedir. Kesikli çizgiler ise moleküldeki titreşim modlarına karşılık gelmektedir. Oklar ise lazer tarafından molekülün uyarılmış duruma geçişini (geri gelişini) (I) ve kendiliğinden temel duruma geri gelişini (II) göstermektedir [23].

4.2. Pompa Sonda Tekniği

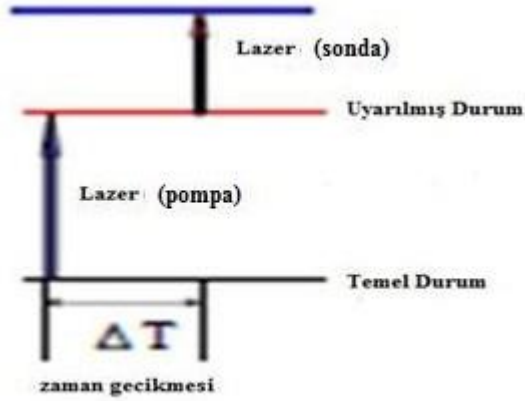
Pompa sonda tekniği ile ultra hızlı spektroskopik ölçümler yapılmaktadır. Lazerin materyallerle etkileşmesinin anlaşılması için bu yöntem gerekmektedir. Bu sayede malzemenin dinamiklerindeki değişimler gözlenmektedir.

Pompa sonda tekniğinde, lazerden çıkan demet iki sinyale ayrılarak pompa ve sonda demeti elde edilmektedir. Pompa sinyali sonda sinyaline göre daha güçlü olmaktadır. Zaman kaybettirici optik bir düzenek kullanılarak pompa sinyalinde sonda sinyaline göre değişken bir zaman gecikmesi oluşturulmaktadır.



Şekil 4.4. Örnek bir pompa sonda deney düzeneği

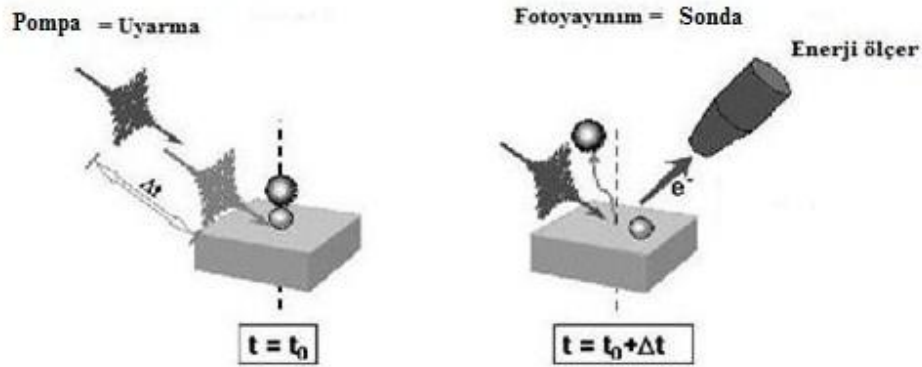
Zaman gecikmeli atma (pompa) örnek üzerinde uyarma için, ikincisi yani (sonda) ise örnek üzerinde birincisinin neden olduğu değişiklikleri araştırmak için kullanılmaktadır [24].



Şekil 4.5. Pompa ve sonda atmalarının enerji seviyelerine etkileri

Molekül pompa ile uyarılıp uyarılmış duruma geçtiğinde, optiksel özellikleri değişmektedir:

- Molekül temel durumdayken foton soğurduğu için artık başka foton soğuramamaktadır. (fotobleaching)
- Bir sonraki foton, uyarılmış halden temel hale geçerken, ışığı kuvvetlendirebilmektedir. (kendiliğinden yayılım)
- Molekül uyarılmış halden daha yüksek bir uyarılmış hale geçerken elde edilen enerjiye eşdeğer olan, ikinci foton enerjisiyle başka foton soğurabilmektedir (uyarılmış durum soğurması) [25] .



Şekil 4.6. Pompa ve sonda atmalarının örnek üzerine etkileri

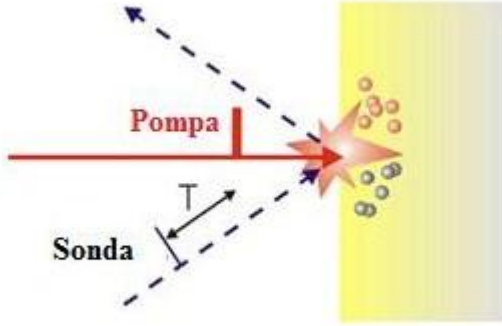
Pompa atması örnek üzerinde fiziksel ya da kimyasal değişiklikler oluşturmaktadır. Sonda atmaları ise durulma süreçlerinin görüntülenmesini sağlamaktadır. Sonda atması örnek üzerine gelen pompa atmasıyla aynı noktaya odaklanmakta ve örnekten yansıyan ya da geçen sonda demeti dedekte edilmektedir. Bu süreç pompa ve sonda atmaları arasındaki farklı yol uzunluklarında (ya da gecikme zamanlarında) yansıtıcılık ya da geçirgenliğin zamana göre değişimi elde edilinceye kadar tekrarlanmaktadır [26].

Sonda demeti birçok sinyalin ortalaması alınarak bulunmaktadır. Sonda demetini zaman gecikmesinin fonksiyonu olarak gözlemlendiğinde, üzerinde oluşan uyarmanın bozunma süreci incelenebilmektedir.

En basit pompa sonda spektroskopisi çalışması, iletilen sonda sinyalinin ölçülmesi ile olmaktadır. Bu olayda, pompa ve sonda sinyalleri arasındaki zaman gecikmesinin bir fonksiyonu olarak geçen sonda sinyalinin enerjisinin değişimi ölçülmektedir [22].

Pompa sonda çalışmaları fizik de doğrusal olmayan optiksel çalışmalarda kırıcılık ve kazancın ps çözünürlüğünde altında doğrudan ölçülebilmesine olanak sağlamaktadır. Ps'nin de altında ışık sinyalinden sonra optiksel kazancın tamamının gevşemesinin bilinmesi, fotonik sistem uygulamaları için kuantum nokta

malzemelerinin potansiyelinin değerlendirilmesi için gerekli olmaktadır. Malzemedeki taşıyıcı süreçlerin zaman skalaları klasik dedektörlerin band aralığından oldukça daha hızlı olduğu için pompa sonda spektroskopisi gerekli olmaktadır.



Şekil 4.7. Pompa sonda sinyalleri

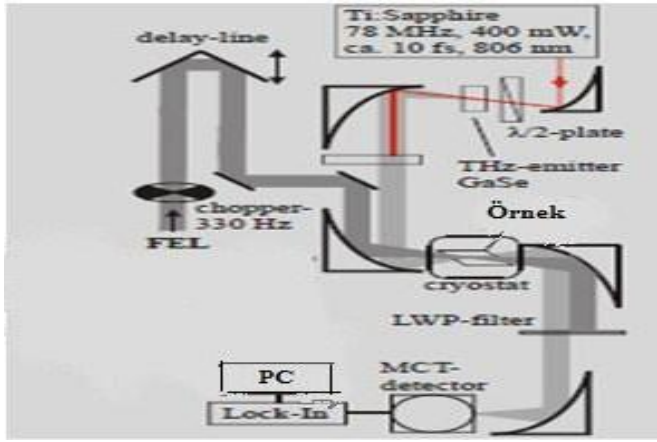
Geçici soğurma ve yayınım spektroskopisi geçici durumların elektronik özellikleri ve dönüşümünün yüksek çözünürlüklü kalitesi hakkında bilgi sağlamaktadır.

Bozunum fotofiziksel olayların çeşitli basamakları boyunca üretilebilmektedir. Soğurma bandı dalgaboyu, uyarılmış durumdan daha yukarıdaki uyarılmış duruma kadar olan iletimin enerji aralığı tarafından belirlenmektedir. Yayınım bandı ise yayılan uyarılmış durum ve bozunumun olduğu durum (bazen temel durum) arasındaki enerji farkı tarafından belirlenmektedir [21].

Ultrahızlı lazer atmaları yoğun fazlar içinde meydana gelen hızlı moleküler, elektronik ve kimyasal reaksiyon süreçlerini gözlemek için kullanılmaktadır. Kimyada fs MIR pompa sonda spektroskopisi, uyarılmış moleküler titreşim durumlarını, titreşim enerji transferlerini, fotokimyasal reaksiyonları ve hidrojen bağlarının dinamiklerinin kırılmasını çalışmak için gerekli olmaktadır. Bu pompa sonda ölçümleri yeni geçici türlerin ve enerji geçiş oranlarının tanımlanmasına yardımcı olarak yoğun faz kimyasının modellerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır [27].

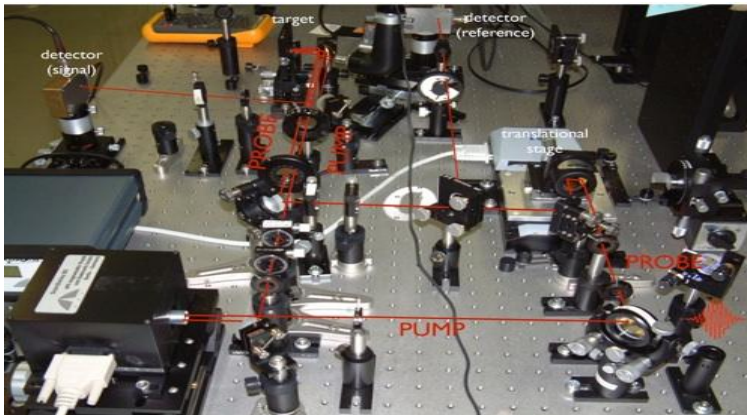
Pompa sonda deneylerini üç şekilde gerçekleştirmek mümkün olmaktadır:

- Birincisinde SEL mikroatmaları hem pompa hem de sonda atmaları olarak kullanılmaktadır.
- İkincisinde pompa atmaları için SEL kullanılırken, sonda atmaları için Ti-Safir lazerler kullanılmaktadır.



Şekil 4.8. Pompa atmaları için SEL, sonda atmaları için Ti:safir lazerin kullanıldığı düzenek

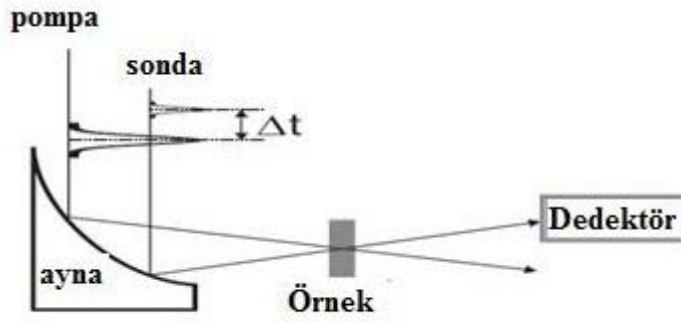
- Üçüncüsünde ise pompa ve sonda atmalarının ikisi içinde Ti:Safir lazer kullanılmaktadır [28].



Şekil 4.9. Pompa ve sonda sinyallerinin ikisi içinde Ti:safir lazerin kaynak olarak kullanıldığı düzenek

4.3 Pompa Sonda Deneyleri

4.3.1. Tek renkli deneyler



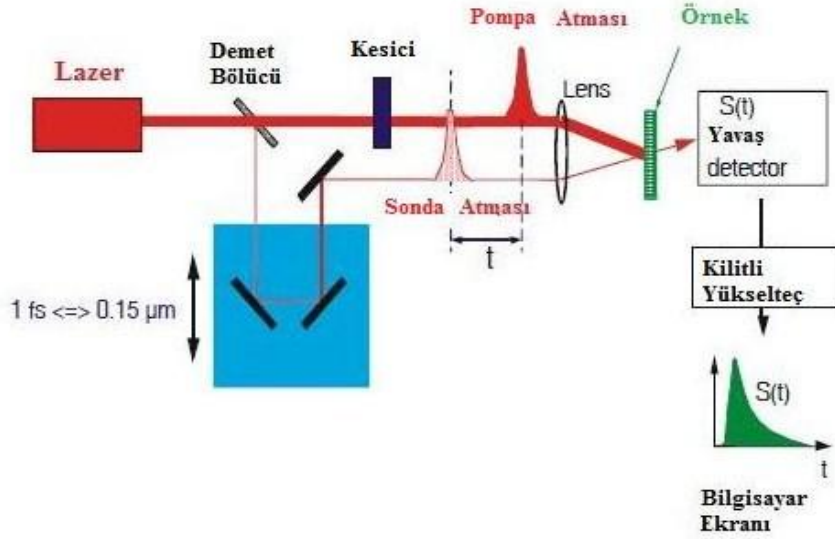
Şekil 4.10. Tek renkli pompa sonda deneyleri için kullanılan örnek bir düzenek

Tek renkli pompa sonda deneylerinde pompa ve sonda sinyallerinin her ikisi içinde aynı kaynak kullanılmaktadır. Yani bu deneylerde bir tek lazer veya bir tek OPA (optik parametrik yükselteç) kullanılmaktadır.

Kaynak olarak SEL'nin kullanıldığı tek renkli pompa sonda deneyleri, katkılı süperörgüler içindeki miniband geçişlerinin gevşeme davranışını araştırmak için kullanılan ana yöntemdir. Geniş kuantum kuyularının da gevşeme zamanları FIR SEL ile bu şekilde ölçülmektedir [29].

Tek renkli pompa sonda deneylerinin çeşitlerini incelersek:

Aynı doğrultuda olmayan pompa sonda deneyleri



Şekil 4.11. Aynı doğrultuda olmayan pompa sonda deneyine örnek bir düzenek

Arka plandaki ışığı ve sonda sinyalinin düşük frekanslı gürültüsünü bastırmak için pompa sinyali kesiciye gönderilmektedir. 20 kHz'e kadar frekansı olan mekanik kesiciler üretilebilmektedir. Elektrooptik modulatörlerle kesici frekansları birkaç yüz MHz'e kadar çıkarılabilmektedir.

Sonda sinyalinin enerjisini gösterirsek:

$$S_{in}=S_0+ \delta S \quad (4.1)$$

S_0 = ortalama değer

δS = sinyal kaynağının düşük frekanslı bir gürültüsü

$S(t)$ = örnek malzemeden iletilen sonda sinyali

Örnek malzemededen iletilen, dedekte edilen sinyali yazarsak:

$$S(t) = T_0 S_{in} + dT/dP (P_0 m(t)) \quad (4.2)$$

T_0 = pompa sinyali olmadan meydana gelen iletim

P_0 = pompa sinyalinin enerjisi

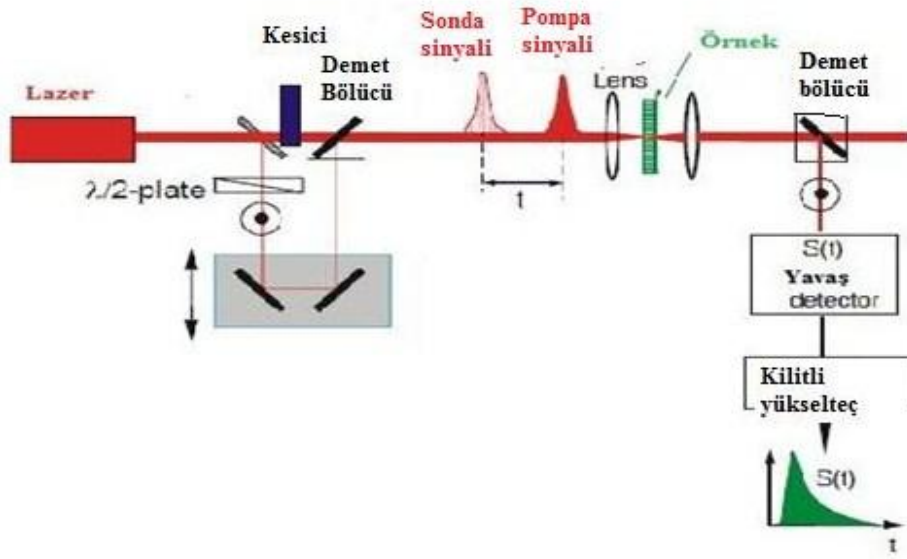
$m(t)$ = kesicinin modülasyon fonksiyonu

dT/dP = pompa sinyalinin enerjisinde meydana gelen değişiklik

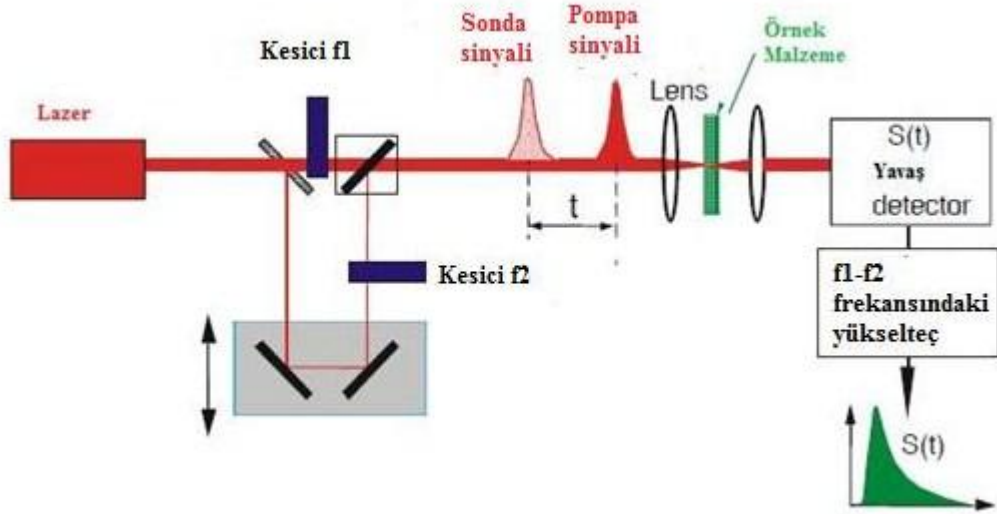
Sonda sinyalinin gürültüsü δS düşük bir frekanssa, $m(t)$ içinde geniş bir kesici frekansı uygun bir şekilde seçilerek, sinyal gürültü tabanından uzağa kaydırılabilmektedir. Bazen test cihazları ya da örnekler düzgün olmayan bir yüzeye sahip olur ve yüzeyden saçılan pompa sinyali detektörün arızalanmasına sebep olabilmektedir. Bu dik bir pompa ve sonda polarizasyonu ile kısmen engellenebilmektedir. Bu yoğun maddelerdeki, örneğin yarıiletkenlerdeki taşıyıcı gevşeme dinamiklerinin süreci gibi, gevşeme dinamiklerinin anlaşılması için kullanılan standart bir teknik olmaktadır.

Aynı doğrultuda olan pompa sonda deneyleri

Bazen pompa ve sonda sinyalleri aynı doğrultuda olmaktadır, örneğin dalgakılavuzu cihazlarının pompa sonda ölçümleri yapılırken. Pompa ve sonda sinyallerinin her ikisinde aynı merkez dalgaboyunda olduğu deneylerde, pompa ve sonda sinyalleri ayrılabilir olmak zorundadır. Bu dik pompa ve sonda sinyalleri kullanılarak (şekil 4.12) ya da farklı frekanslardaki pompa ve sonda sinyallerini keserek ve farklı frekanslarda dedekte ederek (şekil 4.13) gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 4.12. Pompa ve sonda sinyallerinin dik polarize ve aynı doğrultuda olduğu pompa sonda deney düzeneği

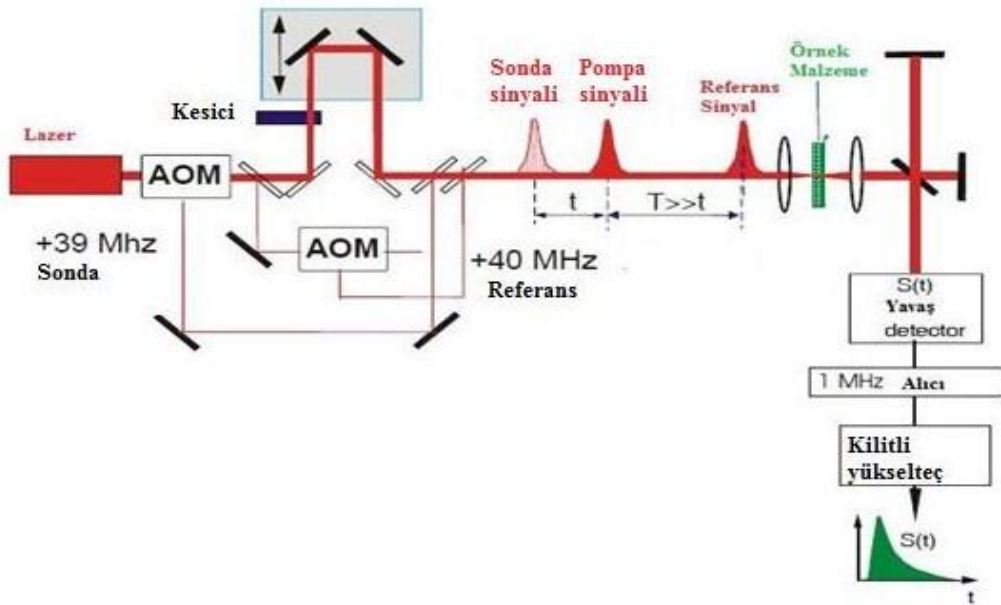


Şekil 4.13. Farklı frekanslardaki kilitli deteksiyon ve pompa ile sonda sinyalinin kesildiği, aynı doğrultuda olan pompa sonda deney düzeneği

4.3.2. İki renkli (Heterodyne) deneyler

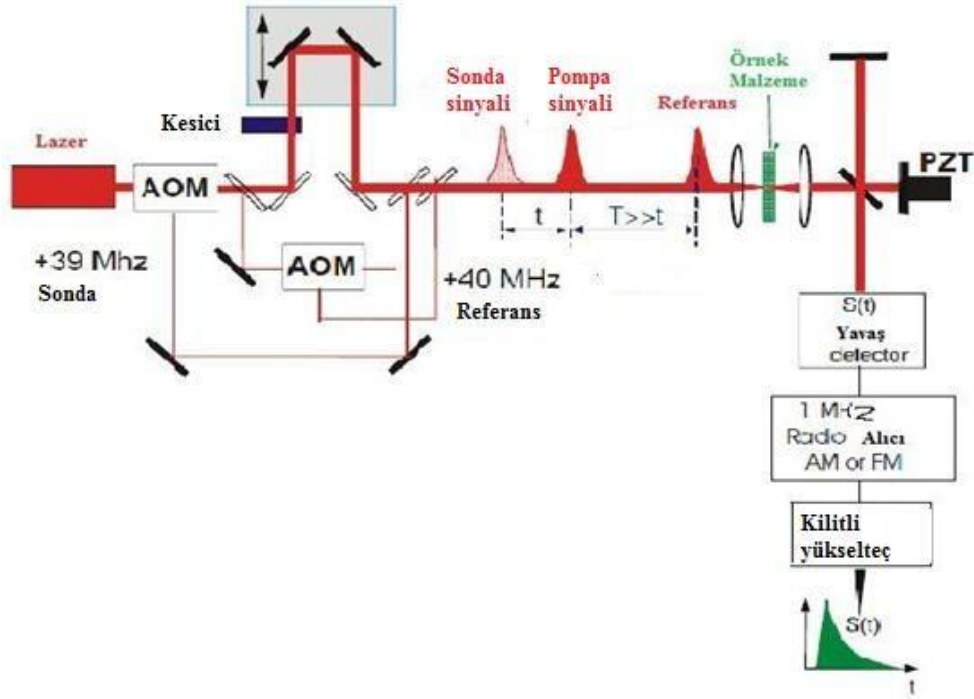
Yoğun bir ultrahızlı uyardıktan sonra, sistemin tepkisini araştırmak için; pompa lazer kaynağı ile senkronize olan, tamamen ayarlanabilir, başka bir ışık kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. NIR'da iki renkli sistemler için mod kilitlemeli Ti:Safir lazerler geliştirilmiştir. Yani bu sistemlerde pompa ve sonda sinyallerini üretmek için iki farklı kaynak kullanılmaktadır.

Dedeksiyonun meydana geldiği fark frekansı daha yüksek seçilebilirse o frekansa kilitlenen dedeksiyon daha geliştirilmekte ve sinyal iki renkli alıcı kullanılarak daha iyi filtrelenebilmektedir. Bu Acousto-optic modulator (AOM)'ün sonda sinyalini ve sırasıyla 39 ile 40 MHz referans sinyalini oluşturmak için kullanıldığı Şekil 4.14'de gösterilmektedir. Örnek malzemeden sonra, sonda ve referans sinyali bir Michelson interferometresi içinde referans sinyalin geciktirilmesi ile birbirine yaklaştırılmakta ve 1 MHz'deki sinyal bir alıcı ile temel banda ulaştırılmaktadır.



Şekil 4.14. Geniş fark frekanslı ve paralel polarizasyonlu aynı doğrultuda olan pompa sonda deney düzeneği örneği

Eğer AM ya da FM alıcı kullanılırsa ve interferometreler referans ve sonda sinyalini interferometrik olarak kararlı üretebilirse, fazdaki doğrusal olmayan kısımlar ve genlik gürültüye kadar yüksek sinyalle dedekte edilebilmektedir.



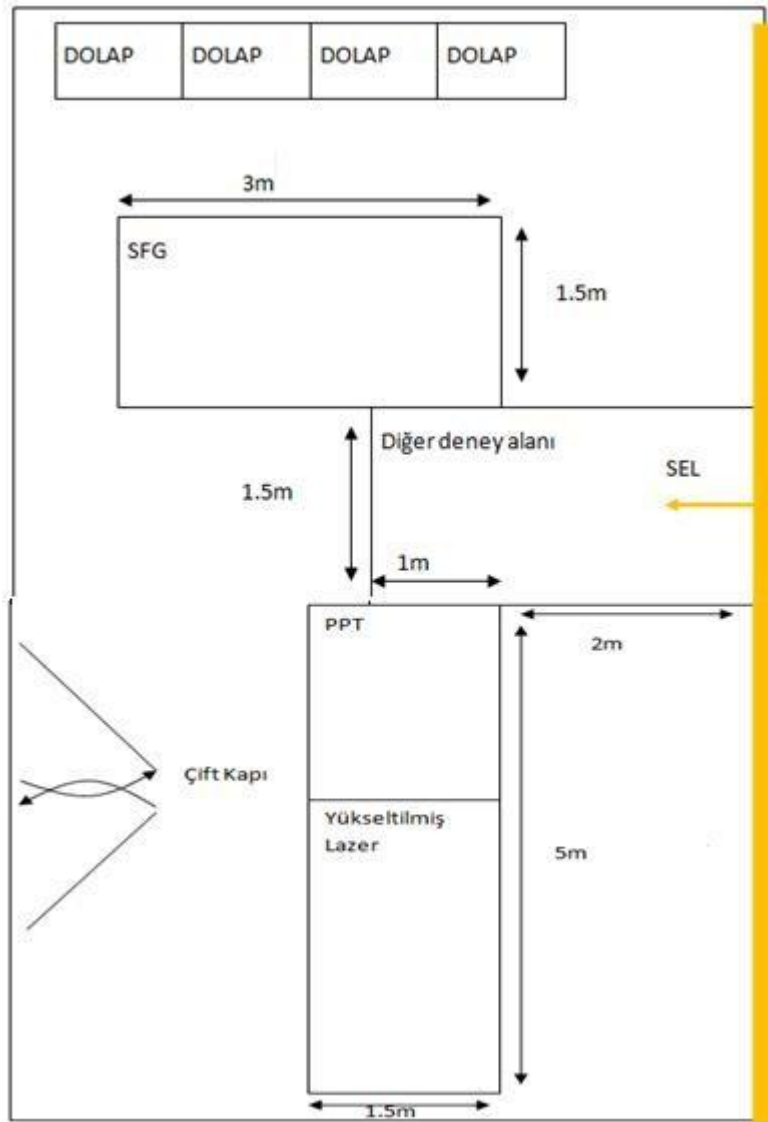
Şekil 4.15. Fazdaki doğrusal olmayan kısımları ve genliği dedekte etmek için AM ve FM alıcı kullanarak yapılan iki renkli pompa sonda deney düzeneği örneği

Pompa kaynağı olarak SEL, sonda kaynağı olarak Ti:safir lazeri gibi klasik bir lazerin kullanıldığı iki renkli pompa sonda deneyleriyle molekül içinde soğurulan dinamiklerin araştırılması çalışmaları yapılabilmektedir [30].

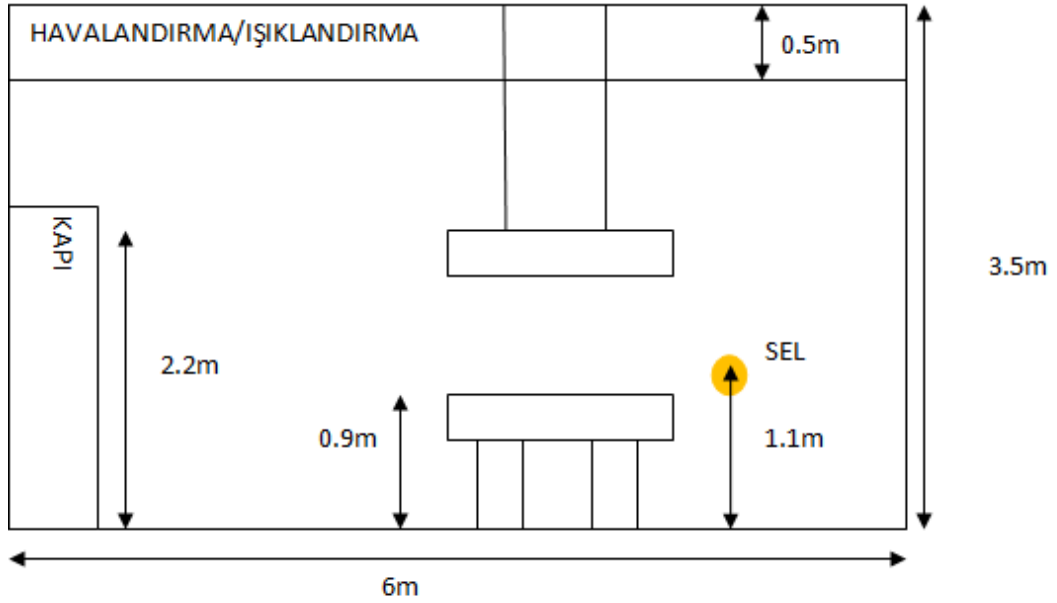
5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. TARLA Doğrusal Olmayan Optik Laboratuvarının Tasarımı

TARLA doğrusal olmayan optik laboratuvarında SFG, pompa sonda ve Terahertz çalışmalarının yapılması planlanmaktadır. Bu laboratuvarın boyutları 6m x 10m x 3.5m olarak düşünülmektedir.



Şekil 5.1. TARLA doğrusal olmayan optik laboratuvarı örnek dizaynı



Şekil 5.2. TARLA pompa sonda/SFG (doğrusal olmayan optik) laboratuvarı ölçüleri

TARLA doğrusal olmayan optik laboratuvarının gereksinimlerini sıralarsak:

- Sıcaklık : (21.0 ± 0.5 °C)
- Nem : % 45 ± 5
- Basınçlı temiz oda
- Soğutucu su
- Basınçlı kuru hava
- UPS hatları
- 210V ve 400V / 50 A elektrik hattı
- Gaz ve sıvı Azot ile Helyum

Bu laboratuvara alınması gereken ana malzemeleri genel olarak sıralarsak:

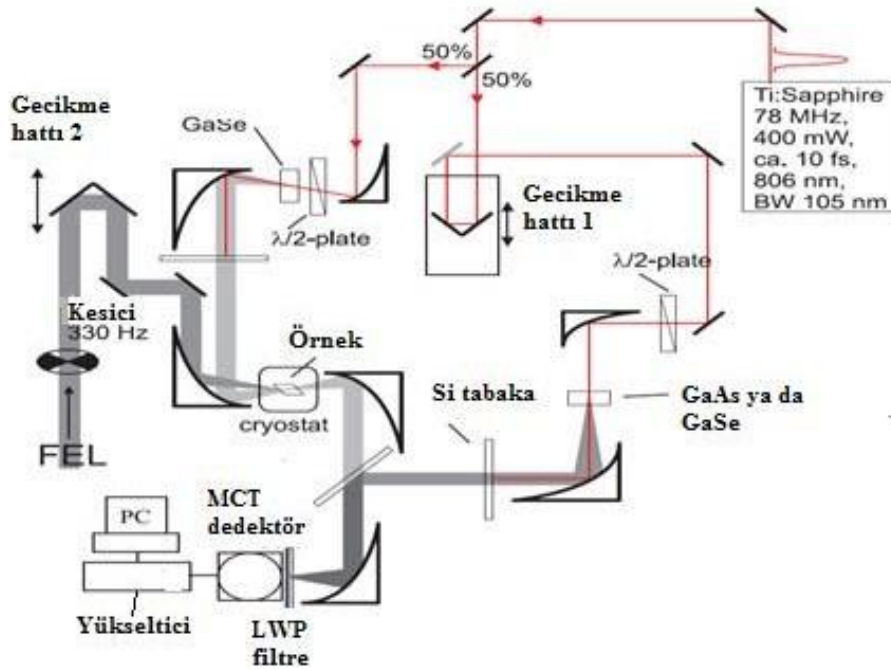
- Optik masalar
- Optik sarf malzemeler (aynalar,mercekler,tutucular..)
- Kızak sistemler ve sürücü motorları
- Optiksel/elektriksel ölçüm cihazları (osiloskop,spektrometreler..)

- Mekanik alt tutucu sistemler ve tavandan asma mekanik sistemler
- Vakum altında yapılacak SFG/PPT deneyleri için özel optik deneyleri barındıracak odacık sistemleri
- Bilgisayar sistemleri gibi malzemeler gerekmektedir [31-32].

Yukarıda sayılan malzemelere ek olarak laboratuarda kullanılabilen cihazlar detaylı bir şekilde bir sonraki kısımda anlatılmaktadır.

5.2. TARLA Doğrusal Olmayan Optik Laboratuvarında Kullanılabilen Cihazlar

Pompa sonda deneylerinde kullanılan örnek bir deney düzeneği aşağıda verilmiştir:



Şekil 5.3. Pompa sonda deneylerinde kullanılan örnek bir düzenek

TARLA doğrusal olmayan optik laboratuvarında yapılacak pompa sonda deneylerinde kullanılabilecek aletler şu şekilde sıralanabilir:

- Ti:safir lazer
- Nd:YAG lazer
- Optik parametrik yükseltici (OPA)
- Fark frekans üretimi (DFG)
- Demet bölücü
- Mekanik kesici
- Doğrusal olmayan optik kristaller (GaSe gibi)
- AgGaSe₂ kristali
- Parabolik aynalar
- KRS-5 Penceresi
- He akış tankı
- Si tabaka
- Uzun dalgaboyu geçiş (LWP) filtresi
- HgCdTe (MCT) dedektörü
- Ge:Ga fotoiletken dedektörü
- Bolometre
- Kilitli yükseltici

5.2.1. Ti:Safir lazer

Kırmızı ve NIR ışık yayan (650-1100 nm) ayarlanabilir bir lazer çeşididir. Ultrahızlı sinyaller ürettikleri ve ayarlanabilir olmalarından dolayı genelde bilimsel çalışmalarda kullanılmaktadır.



(COHERENT)

Şekil 5.4. 800 nm dalgaboyu çıkışı veren Coherent Verdi V18 lazeri ile pompalanan bir Ti:Safir lazer örneği

Titanyum iyonları ile katkılanmış safir kristali lazer ortamında bulunmaktadır. Genelde 514-532 nm dalgaboyuna sahip başka bir lazerle pompalanmaktadır. (Nd:YAG, Nd:YLF gibi...) En etkin 800 nm'lik dalgaboyunda çalışmaktadırlar. Kip kilitli tipinde ultrahızlı atımlar birkaç ps ve 10 fs arasında bulunmaktadır. Sinyal tekrarlama hızı 70-90 MHz arasında olmaktadır. Genelde bu tip lazerler 0.5'den 1.5 W'a kadar ortalama enerji çıkışı vermektedirler [24-33].

5.2.2. Nd:YAG Lazer

Nd:YAG lazer, optiksel olarak pompalanan, yüksek güçlü yayını yapan bir katı hal lazeridir. Bu dört seviyeli lazer sistemine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Lazer bölgesinde renksiz, izotropik kristal olan $Y_2Al_5O_{12}$ (Yitrium Aliminium Garnet) bulunmaktadır. Lazer çalışırken Yitrium'un %1'i Nd tarafından yer değiştirilmektedir. Nd^{+3} iyonlarının enerji seviyeleri floresan özellikten sorumlu olmaktadır. Kazanç band aralığı küçüktür, ama bu yüksek bir kazanç verimliliğini sağlamaktadır. Böylelikle eşik pompa enerjisi de düşük olmaktadır. En yaygın Nd:YAG emisyonu 1064 nm'de olmaktadır. 532, 355 ve 266 nm dalgaboyları da elde edilebilmektedir.



Şekil 5.5. Nd:YAG lazer örneği (Spectra Physics)

Çizelge 5.1. Örnek bir Nd:YAG lazerden elde edilen çıkış dalgaboylarındaki sinyal genişlikleri

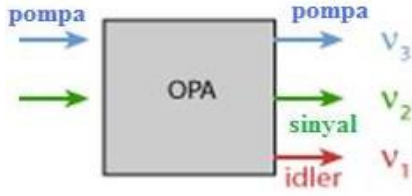
| Dalgaboyu | Sinyal Genişliği |
|-----------|------------------|
| 1064 nm | 8-12 ns |
| 532 nm | 1-2 ns < 1064 nm |
| 355 nm | 2-3 ns < 1064 nm |
| 266 nm | 3-4 ns < 1064 nm |

Çizelge 5.2. Örnek bir ND:YAG lazerin enerji özellikleri

| Tekrarlama Oranı | 10 Hz | 30 Hz | 50Hz |
|----------------------------|---------|--------|--------|
| Enerji (mJ/p) ² | | | |
| 1064 nm | 1250 mJ | 950 mJ | 650 mJ |
| 532 nm | 650 mJ | 475 mJ | 300 mJ |
| 355 nm | 375 mJ | 300 mJ | 140 mJ |
| 266 nm | 130 mJ | 75 mJ | 40 mJ |

[24-34]

5.2.3. Optik parametrik yükseltici (OPA)



Şekil 5.6. Pompa dalgasının OPA'dan geçip sinyal fotonları ve idler fotonlarına dönüşümü

Pompa dalgasının fotonları, OPA'dan sonra düşük enerjili sinyal fotonlarına ve aynı sayıdaki idler fotonlarına dönüşmektedir.

$$W_{pompa} = W_{sinyal} + W_{idler} \quad (5.1)$$

İdler dalgasının foton enerjisi pompanın foton enerjisi ve sinyal dalgasının foton enerjisi arasındaki fark kadar olmaktadır.

Örneğin bir OPA, Nd:YAG lazerden aldığı bir dalgaboyunu $2500-4000\text{cm}^{-1}$ arasında değiştirilebilir dalgaboyuna dönüştürebilmektedir. Bunu bir dizi doğrusal olmayan spektroskopi ve parametrik süreçle yapmaktadır. Parametrik süreç, yüksek frekanslı bir fotonun yok olup iki düşük enerjili foton frekansını oluşturmasıyla olmaktadır [24].

Aşağıda çeşitli firmalardan alınan OPA örnekleri ve özellikleri verilmektedir.



(Coherent)

Şekil 5.7. OPA örneği

Çizelge 5.3. Çeşitli OPA özellikleri (Coherent)

| | OPA 9400 | OPA 9450 | OPA 9800 | OPA 9850 |
|------------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| Tekrarlama Oranı (kHz) | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Sinyal Enerjisi (nJ) | 80 | 80 | 160 | 160 |
| Ortalama Enerji (mW) | 20 | 20 | 40 | 40 |
| Sinyal çıkışı (nm) | 480-700 | 480-700 | 1200-1600 | 1200-1600 |
| İdler çıkışı (nm) | 933-2300 | 933-2300 | 1600-2400 | 1600-2400 |

[33]



Şekil 5.8. OPA örneği (Newport)

Çizelge 5.4. Çeşitli OPA özellikleri

| | Çıkış | Spektral Aralık | Pik Başma Sinyal Enerjisi |
|------------|--------|--------------------------------------|---------------------------|
| OPA-800 CF | Sinyal | 1.1 μm -1.6 μm | 100 μJ |
| OPA-800 CF | İdler | 1.6 μm -3.0 μm | 50 μJ |

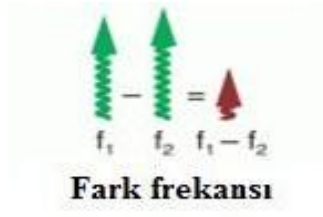
[35]

IR ışık için OPA, 1064 nm'lik bir Nd:YAG lazer ile pompalanmaktadır. Bu demet ikiye ayrılmaktadır. %60'ı DFG için yükselticiye yollanmakta; %40'ı ise bir KTP (potasyum titanyl phosphate (KTiPO₄)) kristali içinde ikiye katlanmaktadır. Yani 532 nm'lik bir ışık elde edilmektedir.

KTP, doğrusal olmayan bir optik kristalidir. Yüksek soğurma katsayısı, geniş geçirgenlik aralığı KTP'nin sıklıkla kullanılmasını sağlamaktadır. Boyutları

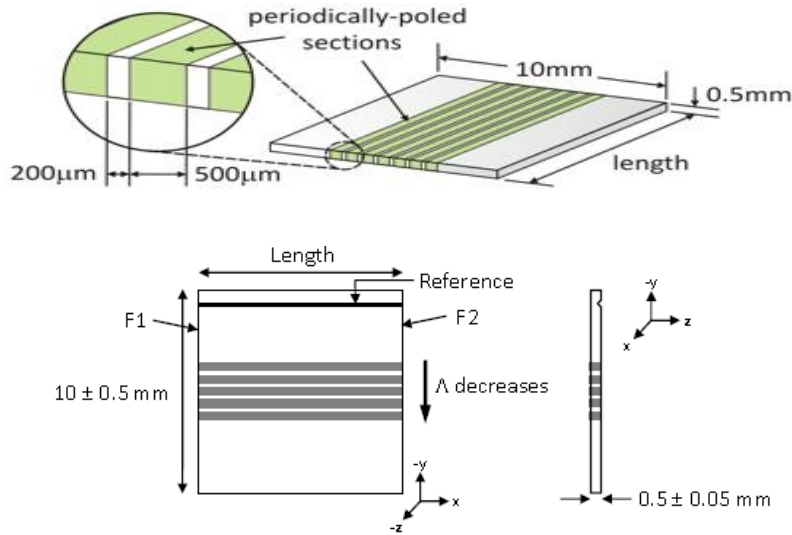
10x10x15 nm ya da 5x5x20 nm olmaktadır. KTP kristalinden elde edilen ışığın dalgaboyu 0.6-4.5 μ m arasında olmaktadır.

5.2.4. Fark frekans üretimi (DFG)



Şekil 5.9. Fark frekans üretimi

Fark frekans üretimi (DFG), periyodik olarak dizilmiş ızgaralardan meydana gelen uygun bir Lityum Niobat (PPLN) kristali içerisinde, iki kısa dalgaboyunun karıştırılması ile 2-5 μ m aralığındaki dalgaboylarının üretilmesine izin vermektedir.



Şekil 5.10. DFG için, sıralı 13 ızgara ile Lityum Niobattan büyütülen bir malzeme parçası

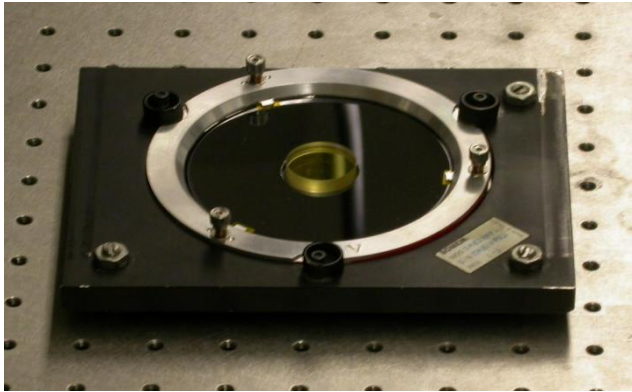
Lityum Niobat'la 4.5 μ m'den 33 μ m'ye kadar DFG yapılabilmektedir. Kullanılan DFG kristaline bağlı olarak çeşitli dalgaboyları elde edilebilmektedir. Örneğin

Nd:YAG lazer sinyali ile Ti:Sapphire lazer sinyali bir DFG kristali içinde karıştırılarak $4.04\mu\text{m}$ 'lik bir radyasyon elde edilebilmektedir.

THz kaynaklı çalışmalarda genellikle GaSe, ZnGeP_2 , GaP kristalleri kullanılmaktadır. GaSe kristali ile çıkış dalga boyu $66.5\text{-}56.64\mu\text{m}$ arasında; ZnGeP_2 kristali ile $83.1\text{-}164.2\mu\text{m}$ arasında; GaP kristali ile $71.1\text{-}283\mu\text{m}$ arasında ayarlanabilmektedir. AgGaSe_2 $0.9\text{-}16\mu\text{m}$ arasında ($2.05\mu\text{m}$ 'lik Ho:YLF ile pompa edilince $2.5\text{-}12\mu\text{m}$ arasında) ayarlanabilmektedir [36].

5.2.5. Mylar demet bölücü

Mylar, uzun dalga boylarında FIR ya da THz spektral aralığında standart demet bölücü, ince, dayanıklı polyster filmidir. Filmin kalınlığı, ince film içindeki etkileşmeden dolayı, istenilen frekansta maksimum piki verecek demet bölücü etkinliğine göre seçilmektedir.

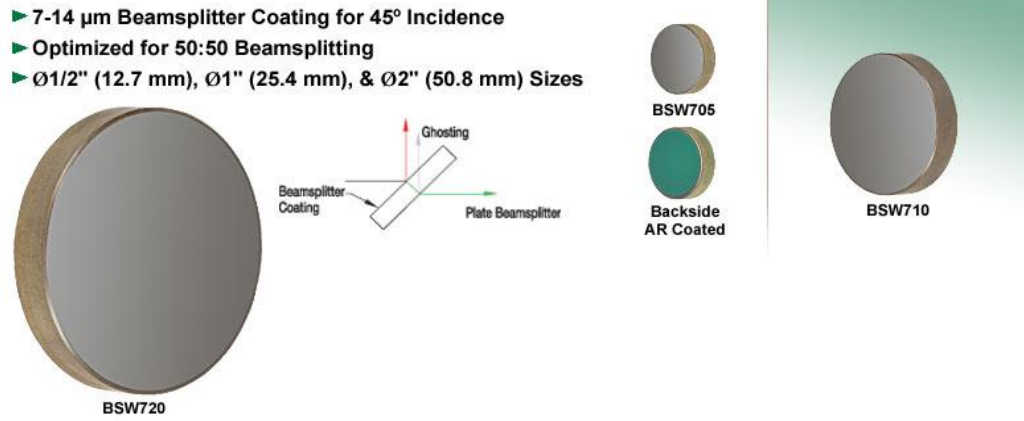


Şekil 5.11. Mylar demet bölücü örneği

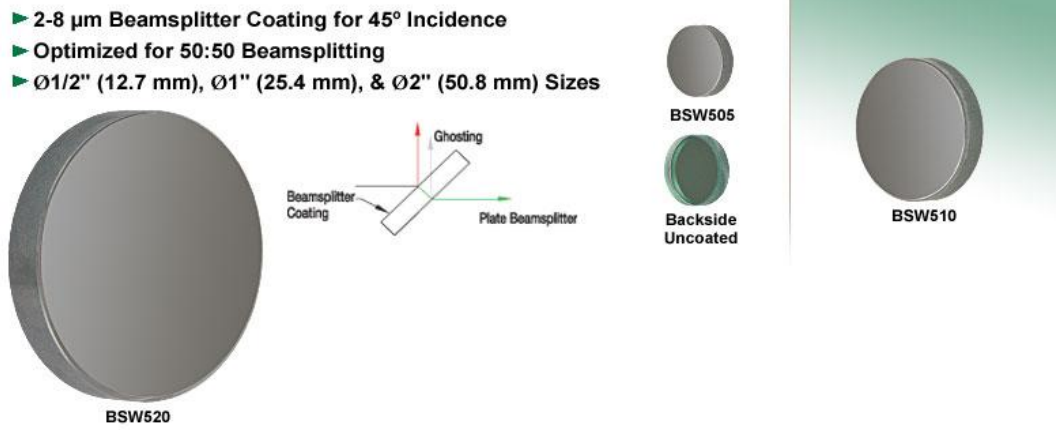
Dezavantajları:

- Farklı spektral aralıklar için farklı kalınlıklar önerilmektedir.
- Maksimum verim ideale yakın değildir.
- Düşük frekanslarda verim dalgasayısının karesi ile orantılı olarak azalmaktadır.
- Yüksek frekanslarda filmdeki soğurma demet bölücü verimini azaltmaktadır.

Bu problemler kalın silisyum elementi içeren demet bölücü kullanılarak engellenmektedir. Bu demet bölücü 25-1000 cm^{-1} aralığında kullanılabilir. Maksimum spektral sonuç silisyum elementinin kalınlığı ile ayarlanmaktadır [37].

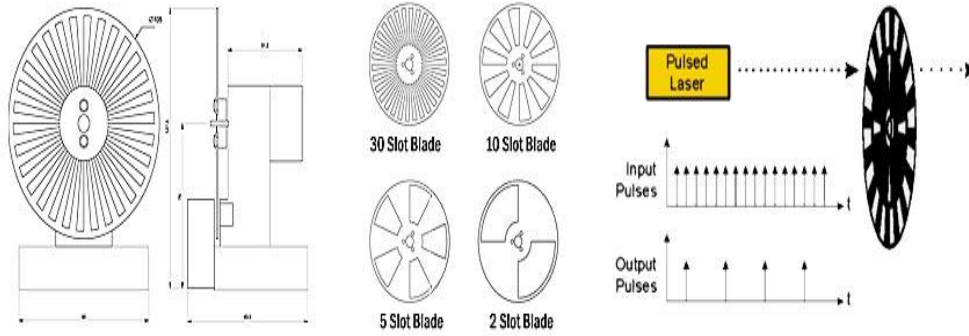


Şekil 5.12. ZnSe Genişbantlı Düzlemsel Demet Bölücü (7 - 14 μm)



Şekil 5.13. CaF_2 Genişbantlı Demet Bölücü (2 - 8 μm) [38]

5.2.6. Mekanik kesici



Şekil 5.14. Mekanik kesici şekli (HOLMARC)

Belirli sayıdaki dış ve iç aralıklardan meydana gelen özel bir kesicidir. Bu aralık dizilimi tek bir demetin ayrılmasına olanak sağlamaktadır. Bir başka uygulaması ise pompa sonda çalışmaları olmaktadır.

Dış ve iç aralıkların farklı olmasıyla pompa demeti dış frekanslarda module edilirken sonda demeti iç frekanslarda ayarlanmaktadır. Örneğin 7 dış aralık ve 5 iç aralıklı bir kesicide dış bıçak 70 Hz'e ayarlanırken iç bıçak 50 Hz'e ayarlanabilmektedir. Eğer iç ve dış bıçaklar için ışık yolu aynı ise sinyal toplam frekans olan 120 Hz'i ve fark frekansı 20 Hz'i görmektedir [38].

5.2.7. AgGaSe₂ (Gümüş Galyum Selenid) kristali

Doğrusal olmayan optik kristaller ZnGeP₂, AgGaSe₂, AgGaS₂, GaSe gibi FAR ve MIR uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu kristaller geniş spektral aralığa ve geniş geçirgenlik aralığına sahiptir [39].

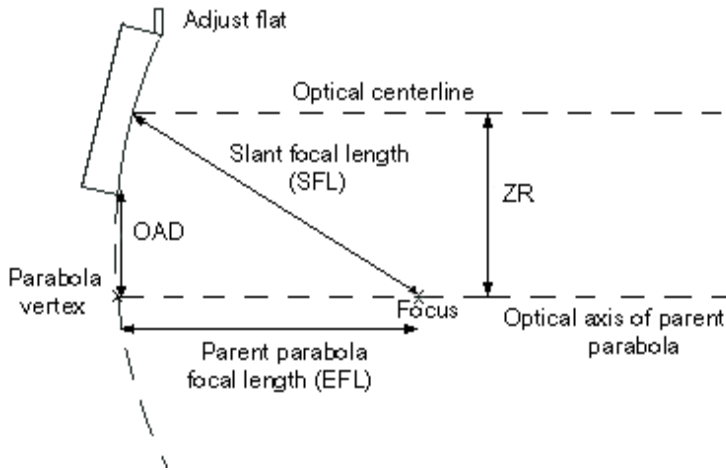
AgGaSe₂; 0.73' den 18 μm 'ye kadar band aralığına sahiptir. 0.9-16 μm 'de kullanışlı bir iletim aralığı bulunmaktadır. 2.05 μm 'de Ho:YLF lazer (Holmium) ile pompalanınca 2.5-12 μm arasında ayarlanabilir bir dalgaboyu elde edilebilmektedir. 1.4-1.55 μm 'de pompalanınca 1.9-5.5 μm arasında dalgaboyu elde edilebilmektedir [64].

5.2.8. Parabolik aynalar

Bu aynalar küresel sapmalardan bağımsızdır, bu yüzden bir noktaya demeti paralel olarak odaklayabilmektedir. Bu aynalar ışık için engelsiz bir aralık kaynağıdır, yani odaklama bölgesine istenilen şekilde odaklamayı sağlamaktadırlar.



Şekil 5.15. Bir parabolik ayna örneği



Şekil 5.16. Parabolik aynanın özellikleri

Slant focal length (SFL); aynanın merkezi ile parabol odağının arasındaki uzunluktur.

Zonal radius (ZR); parabol eksenini ile optiksel merkez çizgisinin arasındaki uzunluktur. ($ZR = OAD$)

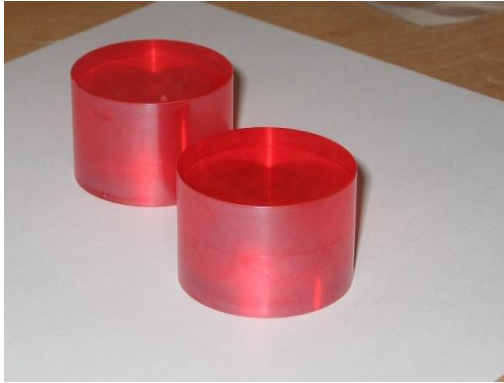
Off axis distance (OAD); parabol optik ekseninden parabolün iç köşesine olan uzunluktur.

Aynanın kalınlığı eksen çapının sekizde biri olmaktadır. Ayna için seçilen malzeme LK-5 optik camdır. (Silica, Pyrex, Zerodur..) Aynanın kaplama malzemesi Alüminyumdur (Al+SiO) [40] .

5.2.9. KRS-5 Penceresi (Thallium Bromoiodide)

KRS-5 penceresi, IR spektroskopisi için inceltmiş toplam yansıtma prizmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca FTIR spektrofotometresi ile gaz ve sıvı örnekler içinde IR iletim penceresi olarak da kullanılmaktadır. Geniş bir iletim aralığına sahiptir ve su içinde çözünmemektedir. $18\mu\text{m}$ 'den sonra iyi bir şekilde iletim yapmaktadır.

KRS-5 penceresi, prizmalar, IR pencereler ve lensler için kullanılmaktadır. İletim aralığı $0.6\text{-}40\mu\text{m}$ 'dir [65].

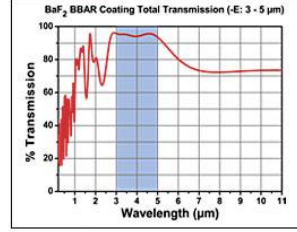


Şekil 5.17. Thalium Bromoiodide örneği

Deneilerde kullanılan diğ er pencere çeşitleri:

► BaF₂ Substrate with AR Coating for 3-5 μm

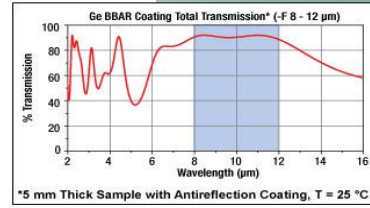
► Choose from Ø1/2" or Ø1"



Şekil 5.18. BaF₂ Pencereleler (200nm-11μm)

► AR-Coated for 8-12 μm

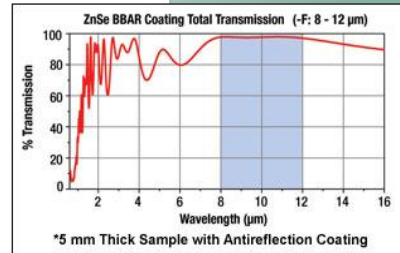
► Choose from Ø1/2" or Ø1"



Şekil 5.19. Ge Pencereleler (2-16μm)

► ZnSe Substrate with AR-Coating for 8-12 μm

► Choose from Ø1/2" or Ø1"



Şekil 5.20. Zinc Selenide Pencereleler (600nm-16μm) [38]

5.2.10. Helyum akış tankı



Şekil 5.21. Helyum akış tankı örneği

Kriyostat,soğuk kriyojenik sıcaklıkları korumak için kullanılmaktadır. Sürekli akış kriyostatları, sıvı Helyum ile soğutulmaktadır. Bu sıvı Helyum bir depolama tankı tarafından sağlanmaktadır. Sıvı Helyum, kriyostat içinde kullanılırken, depolama tankından elde edilen sıvı Helyum akışıyla yeniden doldurulmaktadır. Bu işlem sırasında elektriksel bir güce ihtiyaç duyulmamaktadır [41].

5.2.11. Si tabaka (wafer)

Bu tabaka, integral hücrelerin ve diğer mikro parçaların üretiminde kullanılan, silikon kristali gibi yarıiletken malzemelerin ince bir parçasıdır. Tabaka, mikroelektronik parçalar için altaş olarak kullanılmakta ve tabaka üzerinde çeşitli malzemelerin birçok mikroüretim işlemi (ion implantation, doping, deposition..) aşamaları yapılmaktadır. İnce film üretiminde de Si tabaka kullanılmaktadır.

Si tabaka üzerinde fonon zayıflatma ps ultrasonik ölçümleri yapılabilmektedir. Tabaka, gelen ışığın yansımalarını azaltmaktadır (Mesela, gelen FIR demetinin önüne 73.6 °'lik Brewster açısıyla konularak..) [42].



Şekil 5.22. Si tabaka örnekleri

5.2.12. Uzun Dalgaboylu Geçiş Filtresi (LWP)

Uzun ve kısa dalgaboylu geçiş filtreleri ışığın dalgaboyu bölgelerini ayırmak için kullanılmaktadır. LWP filtreleri, kısa dalgaboylarını yansıtmakta ve kesim dalgaboyunun üzerindeki uzun dalgaboylarını geçirmektedir. İletim yaklaşık %75 civarında olmaktadır [43].

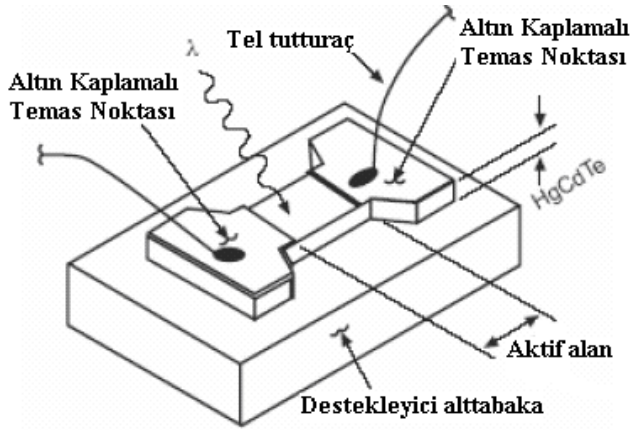


Şekil 5.23. LWP filtre örnekleri

5.2.13. Mercury Cadmium Tellur (MCT) dedektörü

Mercury Cadmium Tellur, CdTe ve HgTe'ün alaşımıdır. Alaşımdaki Cd miktarı, istenilen IR dalgaboyu için, malzemenin optiksel soğurmasına bağlı olarak değiştirilebilmektedir. CdTe, 1.5 eV'luk band aralığına sahip bir yarıiletkenidir.

HgTe'un ise band aralığı 0 eV'dur. Bu iki madde karıştırılarak 0 ile 1.5 eV aralığında herhangi bir band aralığı ayarlanabilmektedir.



Şekil 5.24. HgCdTe detektör şeması

HgCdTe detektörü, üç yarıiletkenin oluşturduğu bir alaşımdır. Bu detektör 10 mm ile 20 mm arasında değişen kalınlığa sahip ince bir HgCdTe tabakadan ve üzerine oturtulmuş metal kontak yüzeylerden oluşmaktadır. İşlem aşamasında yarı iletken band enerjisinden daha büyük enerjiye sahip fotonlar, iletim bandı içerisinde elektronları uyamaktadır. Uyarılan elektronlar değerlik bandından iletkenlik bandına çıkarak maddenin iletkenliğini arttırmaktadır. Bu durumda iletkenlikteki değişim hissedilsin (yüklerin kontaklara iletilmesi) diye eğimli akım ya da voltaj gerekmektedir. Bunu sağlayan 10–150 ohm arasındaki düşük öz dirençli HgCdTe detektörleri, aktif bölge boyunca eğimli akımı sürdürmek için dikdörtgensel ya da karesel yapılardan oluşmaktadır [3].

HgCdTe, IR radyasyonu dedekte edebilmektedir. 3'den 5 μm 'a, 8'den 12 μm 'a, 2.2'den 2.4 μm 'a ve 1.5'den 1.8 μm 'a kadar IR ışığı dedekte edebilmektedir.

HgCdTe, FTIR spektrometrelerinde sıklıkla kullanılan bir fotodedektördür. Gece görüşlerinde askeriye HgCdTe'ü kullanmaktadır.

(Newport, 2-17 μm)

Şekil 5.25. HgCdTe dedektörü

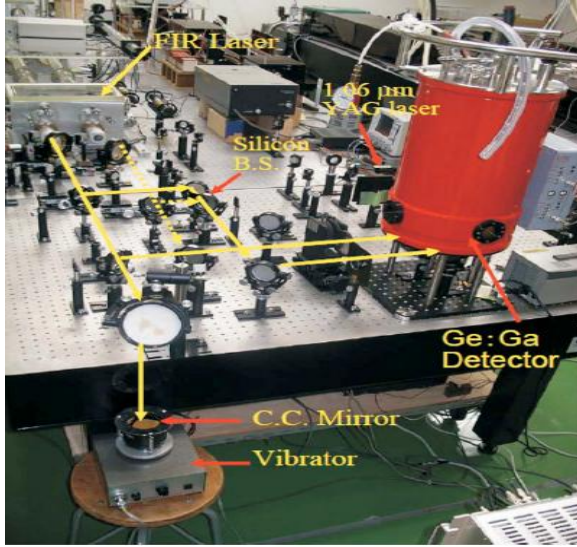
HgCdTe, sıvı nitrojen sıcaklığı civarında (77 K) soğutmaya ihtiyaç duymaktadır. Bu dedektörlerde IR foton elektronu valans bandından iletkenlik bandına gönderilmektedir. Bu elektron uygun bir hücrede biriktirilmekte ve elektrik sinyaline dönüştürülmektedir.

HgCdTe dedektörleri, termoelektrik soğutucuların ulaştığı sıcaklıklara ayarlanmada düşük performans göstermektedir. Bu yüzden bu dedektörlerin bolometrelerle karşılaştırılması oldukça zor olmaktadır.

Gaz analizleri için nitrojen soğutmalı MCT dedektörü oda sıcaklığı civarında çalışan dedektörler arasında büyük avantajlara sahiptir. Verilen bir tarama zamanı için bir MCT dedektörü diğer dedektörlerle karşılaştırılınca 100 kez düşük bir gürültü seviyesinde spektrum üretebilmektedir [35].

5.2.14. Ge:Ga fotoiletken dedektör

Germanyum içinde Galyum katkısı elementlerin herhangi diğer birleşiminden daha uzun dalgaboylarında fotoiletkenlik özelliği vermektedir. Kesim dalgaboyu 120 μm civarında olmaktadır. Dedektör kristaline gerilim uygulamayla 200 μm 'ye çıkarılabilmektedir. 4.2 K'de çalışmaktadırlar.



Şekil 5.26. Ge:Ga Fotoiletken dedektör örneği

Dedektör sistemi 3 tane Ga katkılı Ge fotoiletken içermektedir. Dedektör sisteminde 2 filtre bulunmaktadır. Bunlardan ilki, 300K'lik radyasyondan gelen istenmeyen yüksek frekansları engelleyen ve yansıtan 77 K'lik radyasyon zırhına takılmaktadır. Bu kriyojenik bölümlerde meydana gelen ısısal birikimi azaltmaktadır. İkinci filtre, kriyostat içinde sızıntıya sebep olan istenmeyen yüksek frekansları engellemektedir.

Dedektör malzemesi en iyi 2.4 THz civarındaki frekanslarda çalışmaktadır [44].

5.2.15. Bolometre

FIR ışığı dedekte etmek için sıvı Helyum soğutmalı silikon bolometre kullanılmaktadır. 15-1000 μm arasındaki spektral bölgeyi kapsamaktadır. Diğer dedektörlere göre daha kısa zamanda ölçüm yapmaktadır.

Dedektör elementi, oldukça hassas ısı dirençtir. Bu direnç sıvı Helyum ile soğutulmaktadır. Herhangi bir termal ışın dedektörde sıcaklık değişimine sebep olmaktadır. Bu, voltaj farkı olarak ölçülen ve yükseltilen rezistansta değişikliğe sebep olmaktadır. Genellikle bu dedektörlerin FIR seçim bölgesi 10-285 μm aralığıdır. Diğer dedektörlere göre 10^2 - 10^4 kat daha hassastır. Sıvı Helyum 4.2 ya da

1.7K'e soğutulmaktadır. 4.2 K→20-100 μm için, 1.7 K→100 μm -1 mm için uygundur [45].



Şekil 5.27. Bir Helyum tankı ve bolometre örneği

5.2.16. Kilitli Yükseltici



Şekil 5.28. Kilitli yükseltici örneği

Kilitli yükselteçler, gürültüdeki sinyalleri bulmak için tasarlanmaktadır. Ölçülen sinyal olarak aynı frekansta referans bir sinyale ihtiyaç duymakta ve sonra filtrelemeden önce bu sinyali giriş sinyalini demodüle etmek için kullanılmaktadır. Ayrıca iki referans frekansın toplam ya da fark ölçümlerine de olanak sağlamaktadır. Birkaç nV'luk oldukça küçük AC sinyallerini ölçmekte ve dedekte etmektedirler.

Ayrıca:

- AC'den DC'ye sinyal dönüştürücü
- fazmetre
- gürültü ölçümü
- spektrum analizi
- enerji yükseltmek amacıyla da kullanılmaktadırlar.

Kilitli yükselteç 4 bölüme ayrılır:

Giriş kazanç bölümü: Değişken giriş kazanç bölümüdür. Sinyali demodulatör için uygun bir seviyeye yükseltmeden önceki işlem bölümüdür.

Referans hücre: Bu bölüm referans sinyalin giriş sinyali ile aynı frekansta olmasına olanak sağlamaktadır.

Demodulatör: Demodulatör bir çoğaltıcıdır. Giriş sinyali ve referans sinyalini vermekte ve bunları birleştirmektedir. İki dalga formunu birlikte çoğaltırken sonuç olarak toplam ve fark frekansları elde edilmektedir. Giriş sinyali ölçülürken ve referans sinyali aynı frekanstayken fark frekansı 0'dır ve giriş sinyalinin genliği ile orantılı bir DC çıkış elde edilmektedir.

Düşük geçiş filtresi: Giriş sinyalinin değişken gürültü değerleri referans sinyalden farklı frekansta olduğu zaman toplam ve fark frekansları 0 olmamakta ve çıkış sinyalinin DC seviyesine katkıda bulunmamaktadır. Bu DC seviye (giriş sinyali ile orantılı) bir düşük geçiş filtresi boyunca demodulatörden çıkışı geçerken gözlenmektedir.

Çıkıştaki DC sinyal genelde girişteki AC sinyalden daha büyüktür. Bu yüzden "yükseltici" denmektedir. "Kilitli" denilmesinin sebebi de belirli bir frekansa kilitlenerek diğer girişteki sinyalleri dikkate almadan bu frekans üzerinde ölçüm yapmasıdır. İçindeki faz duyarlı dedektöre *demodulatör* de denilmektedir [46-47].

6. Dünya’da IR SEL Kullanan Laboratuvarlar ve Pompa Sonda Tekniği ile Yapılan alışmalar

IR-SEL kullanılarak yapılan pompa sonda tekniği genel olarak doğrusal olmayan optik çalışmalarında, yarıiletken çalışmalarında ve kuantum kuyu çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

Genel olarak IR-SEL pompa sonda tekniği ile yapılan çalışmaları sıralarsak:

- THz frekans aralığında doğrusal olmayan optik çalışmalar ve yarıiletkenlerde fotoelektrik olayların araştırılması,
- Düşük sıcaklıktaki yarı iletkenlerde geçiş dinamiklerinin incelenmesi,
- Elektriksel olarak uyarılmış kuantum yapıların kızılötesi ve THz optiksel davranışları üzerine alışmalar,
- Kuantum kuyularına optik pompalama alışmaları,
- Kuantum kuyuları, süper örgüler ve kuantum noktalarında taşıyıcı dinamikler üzerine alışmalar,
- Elektronik geçişlerde titreşimsel hareketlerin gerçek zamanlı takibi ,
- Ultra kısa IR sinyallerin kısa zaman ölçeklerinde elektron dinamiklerini etkilemesi ile ilgili alışmalar,
- Fononların gözlenmesi gibi çalışmalar yapılmaktadır.

Spesifik olarak ise IR-SEL pompa sonda tekniği ile yapılan çalışmaları sıralarsak:

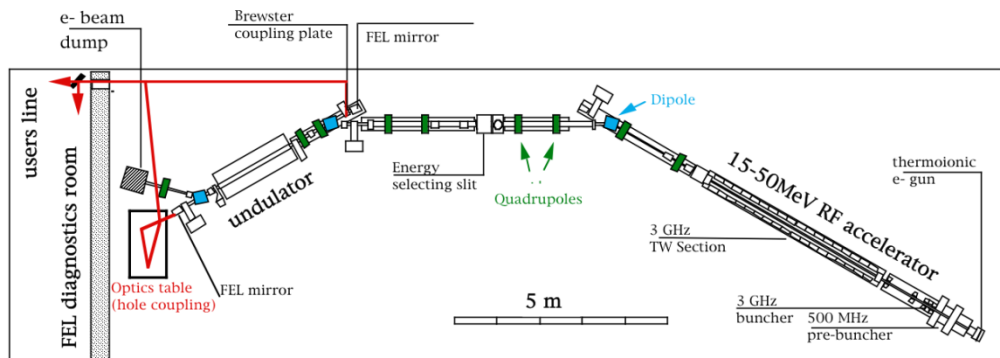
- Katkılı GaAs/AlGaAs süperörgülerinde, minibantlararası gevşeme ve elektron soğurma pompa sonda spektroskopisi ile çalışılmaktadır. (9 ve 13.75 μm SEL)
- InGaAs/AlAs/AlAsSb’a dayanan tek ve çift kuantum kuyularında altbantlararası gevşeme dinamiklerinin gözlenmesi pompa sonda tekniğiyle çalışılmaktadır. (2 μm SEL)
- GaAs/AlGaAs kuantum kaskat lazerleri ve InAs kuantum nokta lazerleri üzerinde kazanç ve yaşam sürelerinin ölçümleri pompa sonda tekniğiyle çalışılmaktadır.
- Myoglobin’in titreşim modları pompa sonda tekniği ile gözlenebilmektedir.

- LiBH₄'ün titreşimsel dinamikleri IR pompa sonda tekniği ile incelenebilmektedir. (3-6 μm SEL)
- Hidrojen bağlı sıvıların NH-, OH- ve OD-bağlanma modlarının titreşimsel gevşemelerinin kanıtlanması için IR pompa sonda spektroskopisi kullanılmaktadır. (4-50 μm SEL)
- Çözeltilerdeki Hidrojen bağlı komplekslerin titreşimsel dinamiklerinin ultrahızlı IR pompa sonda spektroskopisi ile incelenmesi çalışmaları yapılmaktadır.(MIR)
- InMnAs, yapılarıdaki taşıyıcı ve spin yaşam süreleri MIR bölgede sonda ile incelenmektedir. (3-3.5 μm)
- Protein modelleri ve model proteinlerde doğrusal olmayan enerji sınırlamalarının fs IR pompa sonda spektroskopisi ile belirlenmesi çalışması yapılmaktadır. (yaklaşık 3 μm)
- Faaliyetteki enzimlerin başlangıçtaki hallerini yakalamak için fs görünür/MIR pompa sonda aletleri kullanılmaktadır.

Dünyada IR bölgede SEL ile çalışan merkezleri ve bu merkezlerde pompa sonda tekniği ile yapılan çalışmaları sıralarsak:

6.1. CLIO Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri Laboratuvarı (Orsay, Fransa)

CLIO SEL, MIR spektral aralığında, yüksek bir pik gücü ve ayarlanabilir dalgaboyuna sahip lazer demeti üreten bir merkezdir.

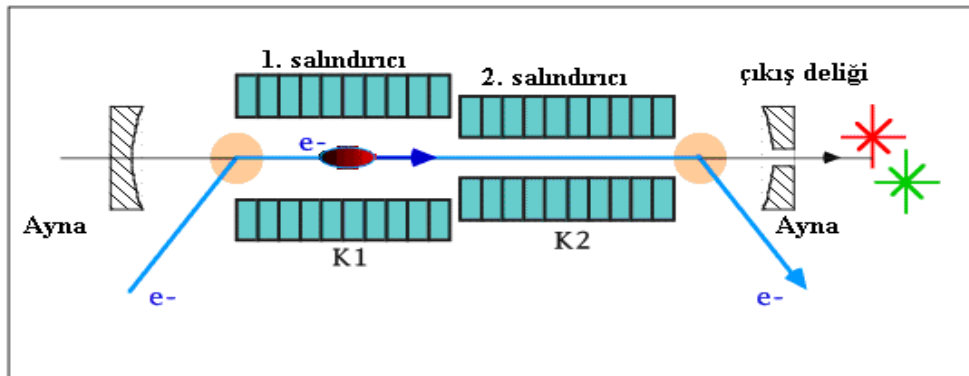


Şekil 6.1. CLIO SEL'in şematik görünümü

Çizelge 6.1. CLIO SEL'e ait önemli parametreler:

| | |
|-----------------------------------|--------------|
| Spektral aralık | 3–150 mikron |
| Enerji | 8-50MeV |
| Pik akım | 100A |
| Makro atma | 10µs |
| Tekrarlama oranı | 6,25-25Hz |
| Mikro atma | 16ps |
| Emittance (rms) | 40π mm.mrad |
| Maksimum ortalama güç | 1W |
| Maksimum pik güç | 100MW |
| Lazer atma uzunluğu | 0,5-6ps |
| Periyot uzunluğu | 5,04cm |
| Minimum spektral genişlik | %0,2–2 |
| Işınım dalga boyu (λ_r) | 3–90µm |

CLIO SEL'de , iki bağımsız 19 periyotlu salındırıcı bulunmaktadır. Bu salındırıcılar iki farklı ve ayarlanabilir dalga boylarında eş zamanlı lazer salınımına olanak sağlamaktadır.



Şekil 6.2. CLIO'nun birbirinden bağımsız iki adet eş salındırıcı magnetleri

Farklı dalga boyları için pompa sonda deneylerini gerçekleştirmesi açısından iki renkli lazer elde edilmesi CLIO'nun benzersiz bir özelliğidir. CLIO SEL'de IR lazer demetinin çeşitli uygulamalar için kullanıldığı beş adet oda bulunmaktadır. Bu uygulamalar; yüzey spektroskopisi, moleküler fizik, yakın alan mikroskopisi, kuantum kuyuları ... olarak sayılabilmektedir.



Şekil 6.3. Pompa sonda ve foton eko çalışmaları için kullanılan deney odası

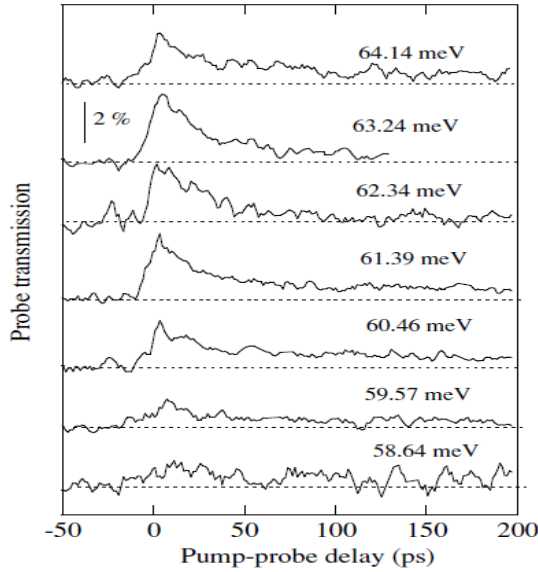
CLIO SEL’de InAs/GaAs kuantum noktalarındaki polaron azalışın pompa sonda analizleri; IR lazerlerle iki renkli çalışmalar; iki renkli SEL kullanarak GaAs kuantum kuyularındaki ortabantlararası yaşam ömürlerinin zaman çözünürlüklü çalışmaları; yoğun fazlardaki titreşimsel gevşemelerin pompa sonda ölçümleri gibi çalışmalar yapılmaktadır [48].

CLIO SEL laboratuvarında pompa sonda tekniği kullanılarak yapılan çalışmalara örnek verirsek:

Pump-probe analysis of polaron decay in InAs/GaAs self-assembled quantum dots (2005) (CLIO SEL-Fransa)

Bu çalışmada n katkılı InAs/GaAs kuantum noktalarında polaron azalışın spektral ve güce bağlılığı pompa sonda tekniği ile gösterilmektedir. Polaron 58 ve 64 meV aralığında, noktalardaki elektron fonon etkileşimlerinin kuvvetli çiftlenmesi sonucu ile ortaya çıkmaktadır. Bu polaron azalması yaklaşık 30 ps süre ile pompa sonda tekniği ile gözlenmektedir. InAs/GaAs kuantum noktaları taban seviyesi (s durumu) ve ilk uyarılmış seviye (p durumu) arasında 20 μm (60 meV) aralığında bazı ortabantlararası soğurmalarla sahiptir.

Pompa sonda ölçümleri 20 μm dalgaboyuna ayarlanmış SEL ile yapılmaktadır. SEL, 25 Hz tekrarlama frekansı ile 10 μs 'lik süreçte makroatmalar göndermektedir. Herbir makroatma 32 MHz'lik tekrarlama frekanslı ps mikroatmaları içermektedir. Bu pompa sonda ölçümleri 5 K'lık bir Helyum akış kriyostat içinde yapılmaktadır.

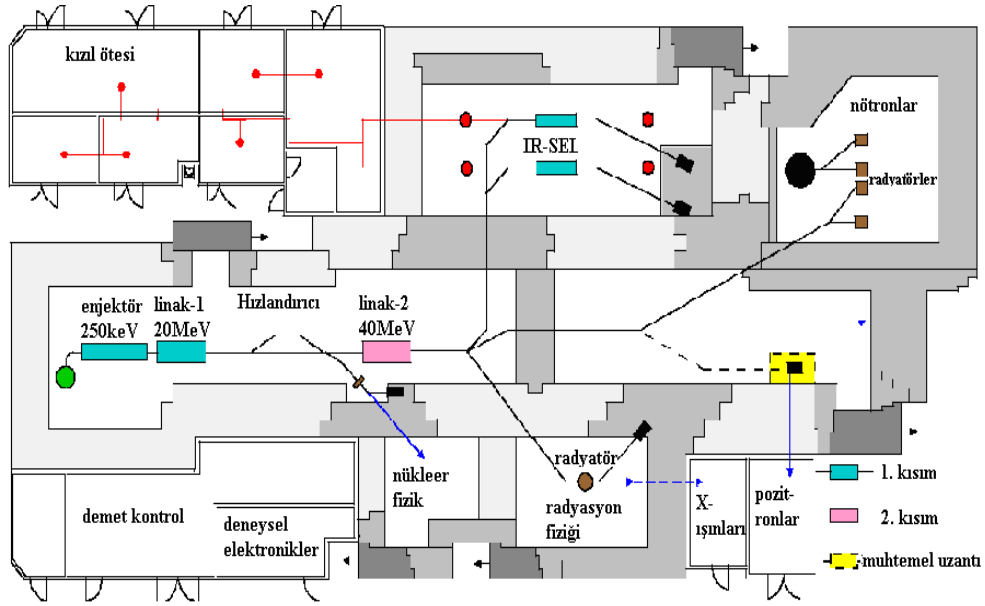


Şekil 6.4. Düşük sıcaklıkta pompa sonda ölçümlerinin spektral dağılımı

Düşük sıcaklıktaki pompa sonda ölçümleri 63.24 meV'a ayarlanmış (19.6 μm) SEL ile yapılmakta ve 3 farklı uyarma güç yoğunluğu için zaman gecikmeleri ölçülmektedir. Yaşam süreleri 28 ps civarında gözlenmekte ve daha büyük dalgalımları için daha kısa yaşam süreleri ölçülmektedir [49].

6.2. HZDR Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri Laboratuvarı (Almanya)

HZDR, Almanya Dresden-Rossendorf'da bulunan 13 MHz'lik tekrarlama oranı ile cw moda çalışan, yüksek parlaklık ve düşük emittans özelliklerine sahip süperiletken doğrusal hızlandırıcı modülleri olan bir SEL laboratuvarıdır.



Şekil 6.5. HZDR laboratuvarının şematik şekli

Çizelge 6.2. HZDR IR SEL'e ait parametreler:

| Parametre | IR |
|--|---|
| Elektron demet enerjisi(MeV) | 12-34 |
| Dalga boyu aralığı (µm) | Salıncı U27 için: 3.5-22 Salıncı U100 için: 18-250 |
| Maksimum paket yükü (pC) | 77 |
| Maksimum ortalama demet akımı (µA) | 1000 |
| Normalize edilmiş yatay yayılım/mm mrad(rms) | 13 |
| Normalize edilmiş düşey yayılım /keV ps(rms) | 140 |
| Mikro atma süresi (ps) | 1-10 |
| Mikro atma tekrarlama oranı (MHz) | 13 |
| Makro atma süresi (ms) | 0,1-40 / cw |
| Makro atma tekrarlama oranı (Hz) | 1-25 |

Elde edilen IR SEL optik taşıma hattıyla altı kullanıcı laboratuvarına taşınır. Bu laboratuvarlar; yarıiletken spektroskopisi laboratuvarı, fs yükseltici ve spektroskopisi laboratuvarı, diagnostik ve fs spektroskopisi laboratuvarı, yakın alan mikroskopisi laboratuvarı, pompa sonda spektroskopisi laboratuvarı, kHz oranlarında pompa sonda

spektroskopisi laboratuvarı, Fourier spektroskopisi ve diagnostik laboratuvarı olarak sıralanmaktadır.

SEL'in dalga boyu aralığı (4-280 μm) yarıiletkenler ve fononlar, plazmonlar, kuantum kuyuları, kuantum noktaları gibi yarıiletken kuantum yapılarında ortabantlararası birçok karakteristik uyarılma enerjilerine (4-300 meV) karşılık gelmektedir. Bu yüzden HZDR'deki SEL bunların gevşeme dinamikleri ile ilgili zaman çözünürlüklü çalışmalarda kullanılmaktadır. Bunun yanında yüksek pik gücü doğrusal olmayan süreçlere ve enerji spektrumu ile dinamiklerin aktif olarak düzenlenmesine olanak sağlamaktadır.

Güçlü bir spektroskopik method olan pompa sonda tekniğinde, pompa uyarma için kullanılırken zaman gecikmesine uğramış ikinci sinyal birinci sinyalin sebep olduğu değişiklikleri gözlemlenmek için kullanılmaktadır. Genelde iki sinyal farklı dalga boylarında seçilmektedir. Özellikle sinyallerin biri SEL ile tamamen senkronize bir Ti:safir lazerden sürülmektedir.

Genel olarak ELBE'de Pompa sonda tekniği ile:

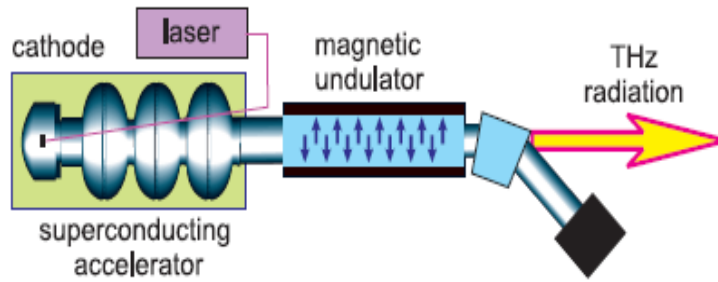
- Kuantum kuyu, süperörgü ve kuantum noktalardaki taşıyıcı dinamikler üzerine çalışmalar,
- Kuantum kaskat lazerler gibi elektriksel olarak uyarılmış kuantum yapıların IR ve THz optiksel davranışları üzerine çalışmalar,
- Ultrakısa IR sinyallerin kısa zaman ölçeklerinde elektron dinamiklerini etkilemesi ile ilgili çalışmalar,
- THz frekans aralığında doğrusal olmayan optik çalışmalar yapılabilmektedir [50].

HZDR SEL laboratuvarında pompa sonda tekniği kullanılarak yapılan çalışmalara örnek verirsek:

THz radiation from FEL's and its potential for cell and tissue studies (2002)

(HZDR SEL-Almanya)

THz bölge FAR-IR bölgeyi de içine almaktadır. Bu frekanslarda verilen foton enerjileri 4-120 meV aralığındadır.



Şekil 6.6. THz radyasyonunun SEL'den elde edilmesinin şematik gösterimi

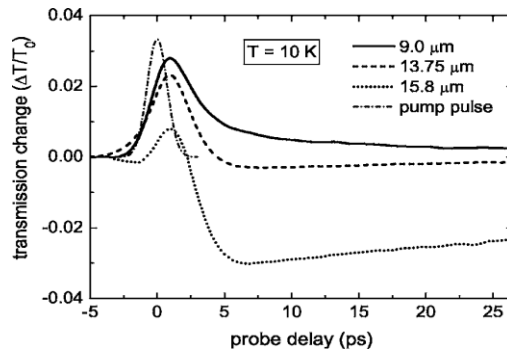
Örneğin DNA dinamikleri SEL sinyal uzunluğu aralığına girmekte ve DNA titreşim modları yine bu şekilde incelenebilmektedir. SEL sinyal uzunluğunun ps aralıkta olması pompa sonda tekniği ile dinamik proseslerin keşfi için kullanılmaktadır. Örneğin myoglobin dinamiklerinin ps çalışmaları.. Bu gibi çalışmalar FELIX ile 4 THz'de yapılmaktadır [51].

Pump probe spectroscopy of interminiband relaxation and electron cooling in doped superlattices (2006) (HZDR SEL-Almanya)

Bu çalışmada IR-SEL kullanılarak pompa sonda çalışmalarıyla katkılı GaAs/AlGaAs süperörgülerinde elektronların ps dinamikleri araştırılmaktadır. Yarıiletkenler ve onların heteroyapıları içindeki elektronların gevşeme ve soğurma davranışları birçok optoelektronik parça için oldukça önemlidir. Kuantum kaskat lazerlerin dizaynı için ortabantlararası gevşeme dinamikleri oldukça iyi anlaşılmaktadır.

Bu çalışmada HZDR SEL kullanılmaktadır. Zaman gecikmeli çalışmalar için örnek, KRS-5 (Talyum Bromid) pencerelerle tamamlanmış sıvı He akış kriyostat içine yerleştirilmektedir. Deneyde pompa sinyalinin kaynağı SEL'dir. SEL 13 MHz'lik bir tekrarlama frekansına sahiptir.

Mylar demet bölücü kullanılarak lazer demeti ikiye ayrılmaktadır. Pompa ve sonda demetlerinin her ikisi de 10 cm odak uzunluklu parabolik ayna ile örneğe odaklanmaktadır. Örneğin arkasında, geçen sonda demeti sıvı azot soğutmalı bir MCT dedektörü ile dedekte edilmektedir. Sinyaller pompa demetini mekanik olarak 350 Hz'e bölerek kaydedilmekte ve bu frekansta kilitli yükselteç kullanılarak sonda demeti ölçülür. Pompa sonda gecikmesi, bir mekaniksel gecikme hattı ile yapılmaktadır.



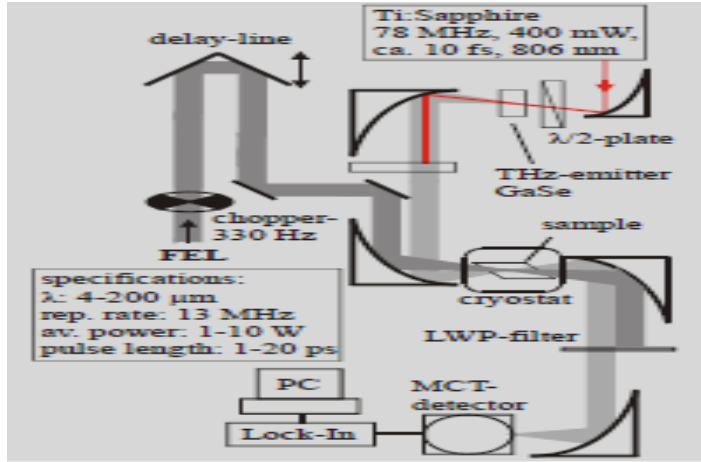
Şekil 6.7. T=10K'de farklı dalgalı boyları için kaydedilen pompa sonda gecikmeleri

Farklı sıcaklıklardaki pompa sonda soğutma zamanları; T=10 K'de 50 ± 5 ps, T=75 K'de 6 ± 1 ps, T=350 K'de ortabantlararası gevşeme zamanları 2.2 ± 0.1 ps olarak gözlenmektedir. Diğer gözlemler 9 μm ve 13.75 μm 'da yapılmaktadır [52].

Two color pump probe spectroscopy of electron dynamics in doped superlattices
(2006) (HZDR SEL-Almanya)

Katkılı süperörgülerde tek renkli pompa sonda ölçümleri 1-2 ps'lik bir ortabantlararası gevşeme zamanında gözlenmektedir. Bu makalede değişik minibant

genişliklerinde katkılı süperörgülerdeki elektron dinamiklerini bulmak için zaman gecikmeli iki renkli pompa sonda çalışması yapılmaktadır.

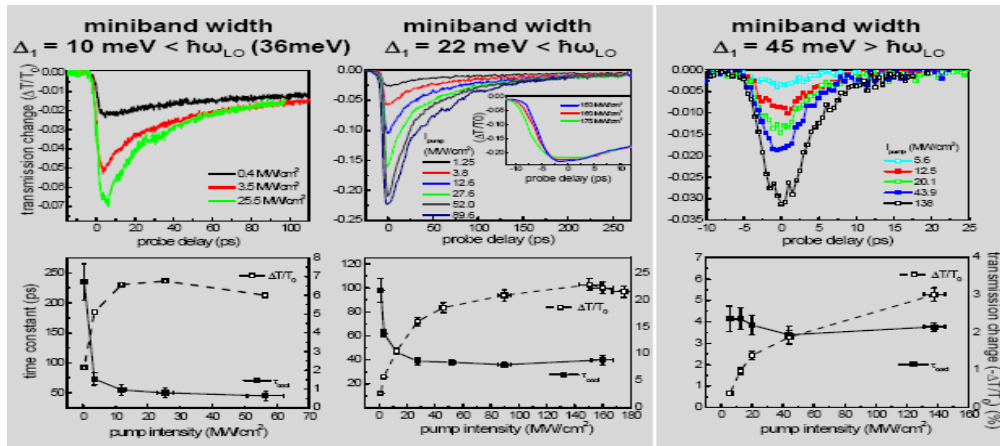


Şekil 6.8. Deneyde kullanılan düzenek

Pompa demetinin dalgaboyu 4-200 μm aralığında, tekrarlama frekansı 13 MHz, ortalama gücü 1-10 W ve atma uzunluğu 1-20 ps arasındadır. Sonda demeti, 78 MHz tekrarlama frekanslı Ti:Safir lazerden elde edilmektedir. Dalgaboyu 806 nm, gücü 400 mW ve atma uzunluğu 10 fs'dir.

GaAs/ Al_x süperörgülerinin miniband genişlikleri $\Delta_2 > 41 \text{ meV}$

6 K Sıcaklığında:

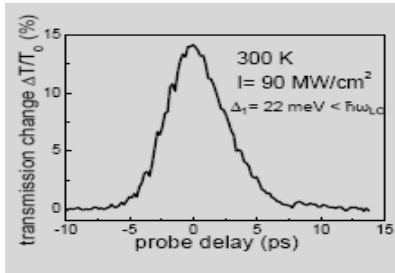


Şekil 6.9. Bozunum zamanlarının pompa şiddetine bağlılığı

-20 MW/cm² ‘den büyük şiddetler için 40 ve 50 ps gibi kısa bozunum zamanları; düşük şiddetler için ise 100 ve 250 ps gibi uzun bozunum zamanları görülmektedir.

- $\Delta_1 = 22$ meV için kısa bozunum zamanları (40 ps) ölçülmektedir (çünkü geçişler $\hbar\omega_{LO}$ ‘ daha yakın).

300 Kelvinde:



Şekil 6.10. Sonda gecikmesi

Bütün süper örgüler için üstminibantlardaki hızlı minibantlararası gevşemeler birkaç ps’dir.

Deneyde ölçülen minibantlararası gevşeme zamanları, teoriyle uyumludur.

• 6 K’de uyarılmış soğurmalarda:

$\hbar\omega_{LO}$ dan küçük minibant genişlikleri için:

-düşük minibantlardaki minibantlararası gevşemeler, 40-250 ps’deki bozunum zamanlarının şiddetine kuvvetlice bağlı olmaktadır.

$\hbar\omega_{LO}$ dan büyük minibant genişlikleri için:

- fonon saçılmasının etkisine bağlı olarak 3-4 ps lik hızlı bozunmalar,
- yüksek şiddetler için kazanç ölçülmemektedir.

• 300 K ‘de uyarılmış geçişler için:

üstminibantın bozunma zamanı birkaç ps (hızlı minibant gevşemesi) ölçülmektedir.

Dedektör olarak MCT dedektörü kullanılmaktadır. Pompa ve sonda demeti arasındaki zaman gecikmesi birkaç ps civarında ölçülmektedir [52].

Intersubband relaxation dynamics in single and double quantum wells based on strained InGaAs/ AlAs/ AlAsSb (2007) (HZDR SEL-Almanya)

InGaAs / AlAs / AlAsSb' a dayanan kuantum kuyularında ortabantlararası gevşeme dinamikleri 2 μm civarında fs pompa sonda tekniği ile ölçülmektedir. Ortabantlararası geçişler kuantum kaskat lazerlerde kullanılmaktadır. Aynı zamanda ps ve ps'nin altındaki ortabantlararası gevşemeler tüm optik ayarlamalarda da kullanılmaktadır.

Pompa sonda ölçümleri bir optik parametrik osilatör ile 78 MHz'lik tekrarlama frekansı ile yapılmaktadır. Sinyal InGaAs dedektör ile dedekte edilmektedir. Sonda sinyalinin enerjisi 105 pJ, 1.9-2.1 μm aralığındadır [53].

Two colour pump probe studies of intraminiband relaxation in doped GaAs/ AlGaAs superlattices (2008) (HZDR SEL-Almanya)

Katkılı GaAs/AlGaAs süperörgülerindeki elektronların miniband gevşeme dinamikleri PPT ile çalışılmaktadır. Bu teknikle ultrahızlı bir uyarmadan sonraki minibantlararası gevşemeler gözlenmektedir. Minibantlararası gevşeme ile GaAs'nin foton enerjisinin (25 meV-45meV) altındaki ve üstündeki farklı minibant genişlikleri çalışılmaktadır.

Yarıiletkenler ve onların heteroyapıları içindeki elektronların dinamik davranışları pek çok optoelektronik uygulama için oldukça önemli olmaktadır. Örneğin, altbantlararası gevşeme süreçleri, kuantum kaskat lazerler ve kuantum kuyu kızılötesi fotodedektörler ile yakından ilgilidir. Yarıiletken süper örgülerin gevşeme davranışları da bu gibi cihazlarla detaylı olarak araştırılmaktadır.

Bu çalışmada HZDR IR SEL ile birlikte senkronize bir masaüstü genişbantlı IR bir ışık kaynağı kullanılarak, katkılı GaAs/AlGaAs süper örgülerinde iki renkli pompa sonda iletim ölçümleri gösterilmektedir. Ultrahızlı bir uyarmadan sonra gevşeme kanalları içindeki minibantlarındaki ve içindeki geçici gevşemeler

gözlenmektedir.

Gözlemede kullanılan iki örnek, yarıiletken GaAs alttaş üzerine Moleküler Demet Epitaksi yöntemi kullanılarak büyütülmektedir. Örnek-1, 7.7 nm kalınlığında kuantum kuyusu ve 2.1 nm kalınlıklı engel; Örnek-2 ise 6.8 nm kalınlıkta kuantum kuyusu ve 1.1 nm kalınlıklı engel içermektedir.

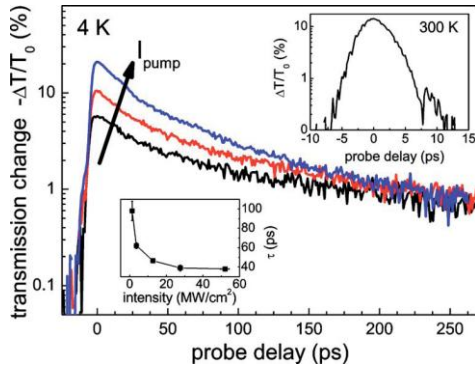
Bu makalede Örnek-1 için SEL $7\mu\text{m}$ 'ye; Örnek-2 için ise $4.5\mu\text{m}$ ' ye ayarlanmaktadır. SEL'nin sinyal uzunluğu 1.5 ps'dir. Sonda demeti SEL tarafından sürülen ve hızlandırıcı ile tamamen senkronize olan Ti:Safir osilatör tarafından 10 fs'lik optik sinyalleri veren DFG ile elde edilmektedir. DFG için 8-20 μm aralığında ayarlanabilen, IR sinyallerin üretimine olanak sağlayan, doğrusal olmayan optik kristal olarak GaSe seçilmektedir. Bu sinyaller direk olarak 13MHz'lik SEL ile uyum içindeki 78 MHz'de sürülen Ti:Safir osilatör ile üretilmektedir.

Pompa ve sondanın her ikisinde 10 cm'lik odak uzunluğuna sahip parabolik ayna kullanılarak aynı doğrultuda olmayacak şekilde örnek üzerine odaklanmaktadır.

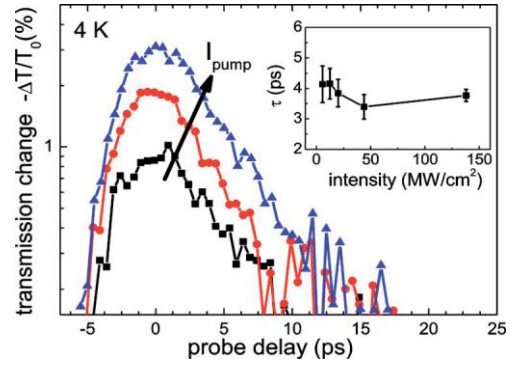
Örneğin arkasında iletilen sonda demeti sıvı azot (LN_2) ile soğutulan MCT dedektörü ile dedekte edilmektedir. Sonda demetinin zaman gecikmesi mekanik bir gecikme hattı ile sağlanmaktadır.

Hassasiyet, SEL demet yolu üzerine mekanik kesici konularak ve sonda sinyalindeki geçici iletim değişikliklerini veren kilitli yükselteç kullanılarak artırılabilir. Sonuç olarak bu makalede hassas bir iki renkli IR PPT kullanılarak katkılı süper örgülerin düşük ve yüksek minibantları içindeki gevşemeler çalışılmaktadır.

Minibantlararası gevşeme ile GaAs'ın optik fonon enerjisinin altındaki ve üstündeki farklı minibant genişlikleri çalışılmaktadır. Bu kritik değerden daha geniş minibantlarda farklı katkı akımları için hemen hemen sabit olan hızlı gevşemeler bulunurken; daha dar minibantlar için gevşemeye bağlı olarak yüksek bir sıcaklık ve akım değeri bulunmaktadır.



Şekil 6.11. Örnek-1'in $T=4$ K'de 3.8 (siyah), 12.6 (kırmızı), 52 (mavi) MW/cm^2 pompa yoğunluklarına karşılık gelen iletim değişiklikleri



Şekil 6.12. Örnek-2'nin $T=4$ K'de 12.5 (siyah), 43.9 (kırmızı), 138 (mavi) MW/cm^2 pompa yoğunluklarına karşılık gelen iletim değişiklikleri

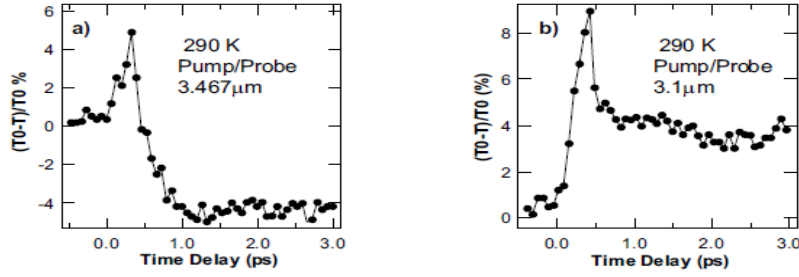
[54]

Time resolved spectroscopy of InMnAs using differental transmission technique in mid-IR (2010) (Almanya)

Bu çalışmada InMnAs, MOVPE (Metalorganic Vapor Phase Epitaxy) ile büyütülmektedir. InMnAs oda sıcaklığında ferromanyetik bir yarıiletkenidir. Bu yapılardaki taşıyıcı ve spin yaşam ömürleri MIR bölgede sonda edilmektedir.

MOVPE tekniği, MBE (Molecular Beam Epitaxy) tekniğinden 200 C° daha yüksek sıcaklık olan 500 C° de InMnAs'ın çalışmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca 330 K ' de filmler ferromanyetik özellik göstermektedir. Bu teknikle GaAs alttaş üstüne direk manyetik tabak büyütülebilmektedir.

Ölçümler Dresden'de Yüksek Manyetik Alan Laboratuarında yapılmaktadır. MIR lazer kaynağı olarak DFG kullanılmaktadır. OPA 1 kHz tekrarlama frekanslı Ti:Safir osilatörden pompalanmaktadır. Pompa ve sonda arasındaki zaman gecikmesi sıvı azot soğutmalı MCT dedektör ile ölçülmektedir.



Şekil 6.13. 290 K’de 3.1 ve 3.47 μm ’de yapılan deneylerde spin gevşeme zamanı 1 ps civarında olarak ölçülmüştür [55].

6.3. FELIX Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri Laboratuvarı (Hollanda)

FELIX merkezi SEL1 ve SEL2 diye adlandırılan FELIX demet hatlarını ve FELICE demet hattını içermektedir. FELIX demet hattı 3-250 μm dalgaboyu aralığında koharent radyasyonu üretmektedir.

Çizelge 6.3. FELIX’e ait parametreler

| | |
|----------------------------|----------------------|
| Dalgaboyu Aralığı | 3-250 μm |
| Mikroatma Enerjisi | 1 - 50 μJ |
| Mikroatma Gücü | 0.5 - 100 MW |
| Mikroatma Tekrarlama Oranı | 1 GHz ya da 25 MHz |
| Makroatma Tekrarlama Oranı | 5 (10) Hz |
| Mikroatma Zamanı | 6 - 100 optik döngü |
| Makroatma Zamanı | < 10 μs |
| Spektral Band Genişliği | 0.4 - 7 % |
| Polarizasyon (doğrusal) | > 99 % |

FELIX’de on deney odası bulunmaktadır. Bu deney odaları kullanıcı istasyonları, doğrusal olmayan optik laboratuvarı (pompa sonda deneylerinin yapıldığı laboratuvar), moleküler dinamik çalışmaların yapıldığı iyon tuzak deney düzeneğinin bulunduğu laboratuvar ve Fourier dönüşüm İyon Siklotron Rezonans Kütle Spektrometresi (FTICR) kullanılan laboratuvar olarak sıralanmaktadır.

Pompa sonda deney düzeneği:

Dalgaboyu aralığı : 4.5 - 20 μm



Şekil 6.14. FELIX pompa sonda deney düzeneği

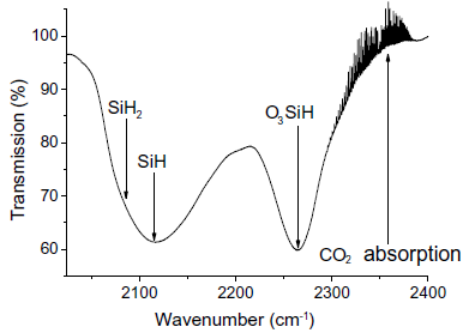
FELIX’de yapılan pompa sonda çalışmaları arasında:

- Gözenekli silikon içindeki Si-H bağı modlarının MIR pompa sonda spektroskopisi ile incelenmesi,
- Si/Si:Er³⁺ nano tabakaları içinde THz iletimlerin pompa sonda çalışmaları,
- Optiksel fonon enerjisi altında SiGe kuantum kuyularının yaşam ömürlerinin pompa sonda ölçümleri,
- Fotoaktif sarı proteinin ps görünür/IR pompa sonda dinamiklerinin araştırılması,
- AlGaAs-GaAs kuantum kuyularındaki ortabantlararası yaşam ömürlerinin FIR pompa sonda ölçümleri yer almaktadır [56].

Mid-IR pump probe spectroscopy of Si-H stretch modes in porous silicon (2008)
(FELIX SEL-Hollanda)

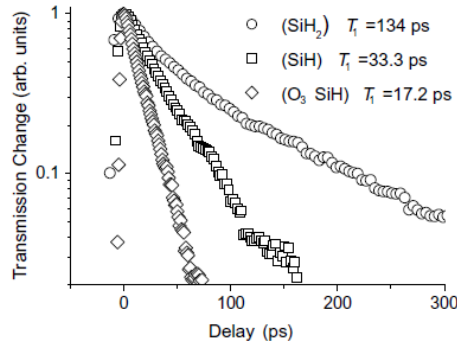
Gözenekli silikon, bir şeffaf silikon yarıiletken levha içine elektrokimyasal aşındırma yöntemiyle bir dizi gözenek (delik) meydana getirilmesi ile oluşmaktadır. Yarıiletken levha HF çözeltisine batırılmış iken düşük akım yoğunluklarında anodize olmaktadır.

Oluşan gözenekler, sonradan pasif olan Si bağlarını içeren duvarlara sahiptir. HF asidindeki H iyonları çoğunlukla aşındırma işlemi için kullanılmaktadır. Pasifleştirme işlemi süresince birçok Hidrojenli, özellikle SiH_x türevi bağ konfigürasyonları ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6.15. Bir gözenekli silikon tabakanın 10 K'deki kızılötesi iletim spektrumu

2114 cm^{-1} ve 2262 cm^{-1} de uzanan soğurma pikleri, Si-H ve $\text{O}_3\text{Si-H}$ uzama modlarının temel titreşimlerine bağlı olmaktadır. 2083 cm^{-1} deki sırta SiH_2 vardır.



Şekil 6.16. Si-H, SiH_2 ve $\text{O}_3\text{Si-H}$ titreşimlerinin pompa sonda ölçümleri

10 K' de SiH_2 4.8 μm , SiH 4.73 μm ve O_3SiH 4.42 μm 'deki pompa sonda sinyalleri şekil 6.16' da verilmektedir.

FELIX'de yapılan bütün zaman çözünürlüklü ölçümlerdeki sinyaller 300 fs kadar kısadır. Titreşimsel geçişler 4.8 μm , 4.73 μm ve 4.42 μm 'de uyarılmaktadır [57].

Microscopic evidence for role of oxygen in luminescence of Er⁺³ ions in Si: two color and pump probe spectroscopy (2008) (FELIX SEL-Hollanda)

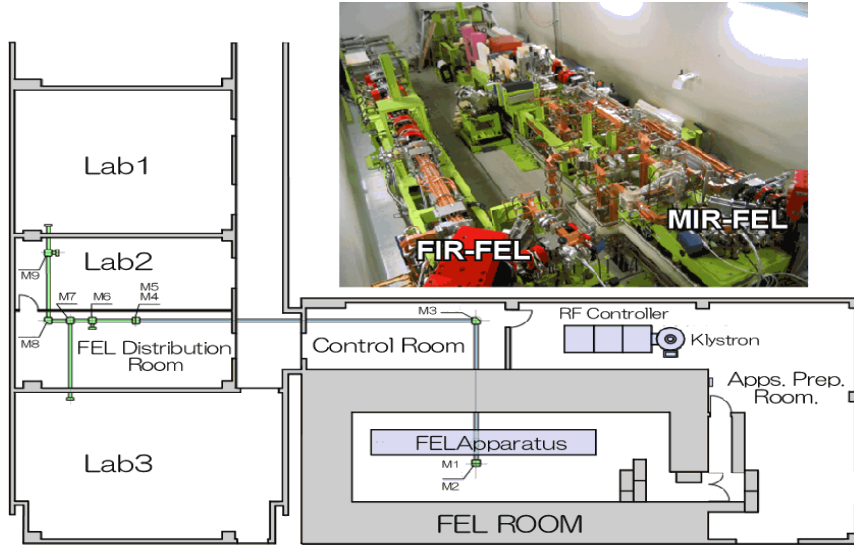
Bu çalışmada, SEL ile iki renkli pompa sonda spektroskopi kullanılarak Er⁺³ iyonlarından yayılan 1.5 µm ile Si'daki oksijenin 9 µm'lik titreşim bandı arasındaki doğrudan ilişkiyi gösterilmektedir. Er ile etkilenen 9 µm'lük titreşim bandının yaşam ömrü gözlenmiştir.

İki renkli pompa sonda için 532 nm'ye ayarlı 80 ps sinyal uzunluklu, 5 Hz tekrarlama frekansına sahip atmalı Nd:YAG lazer ile 7 µs makroatmalı, ps mikroatmalı MIR SEL kullanılmaktadır.

Oksijenin titreşim modlarının yaşam süreleri SEL tarafından pompa sonda çalışmaları ile incelenmektedir. Sonda demeti bir MCT dedektör ile dedekte edilmektedir. Örnek He kriyostat içine konulmaktadır. Örnek Nd:YAG ile uyarılıp 9 µm'lik sonda ile incelenmektedir [58].

6.4. FELSUT Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri Laboratuvarı (Tokyo, Japonya)

FELSUT'da, biri kullanıcı çalışmaları için kullanılan MIR-SEL ve diğeri de şu an osilasyon için düzeltmelerin yapıldığı FIR-SEL olan iki lazer üretilmektedir.

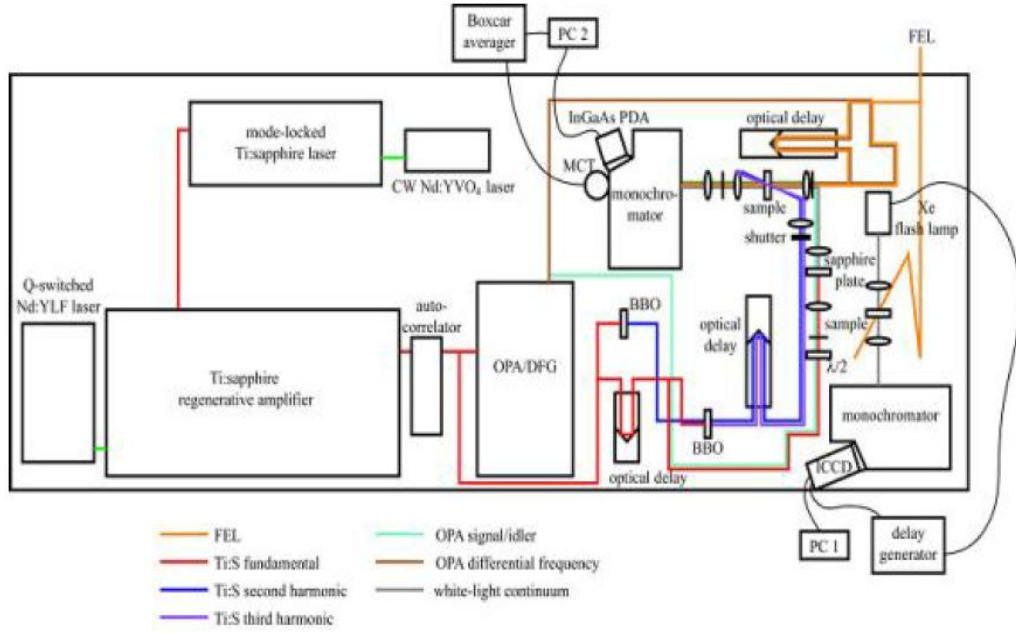


Şekil 6.17. FELSUT'un şematik görünümü ve MIR-SEL ile FIR-SEL demet hattı

Çizelge 6.4. MIR-SEL'in parametreleri:

| | |
|----------------------------------|--------------------|
| Ayarlanabilir aralık | 5-14 μm |
| Bant genişliği | $\approx 1.0\%$ |
| Mikroatma genişliği | 2 ps |
| Mikroatma enerjisi | 8-25 μJ |
| Mikroatma aralığı | 350 ps |
| Makroatma genişliği | 2 μs |
| Makroatma enerjisi | $< 50\text{ mJ}$ |
| Tekrarlama oranı (Makro-atma) | 5 Hz |

FELSUT içinde üç deney odası bulunmaktadır. Bunlardan birinde pompa sonda çalışmaları yapılmaktadır. Pompa sonda çalışmalarını gerçekleştirmek için kurulan düzenek aşağıda verilmektedir.



Şekil 6.18. Pompa sonda deney düzeneği

Düzenek Ti:Safir lazer/OPA sistemi ve üç optik gecikme hattından meydana gelmektedir.

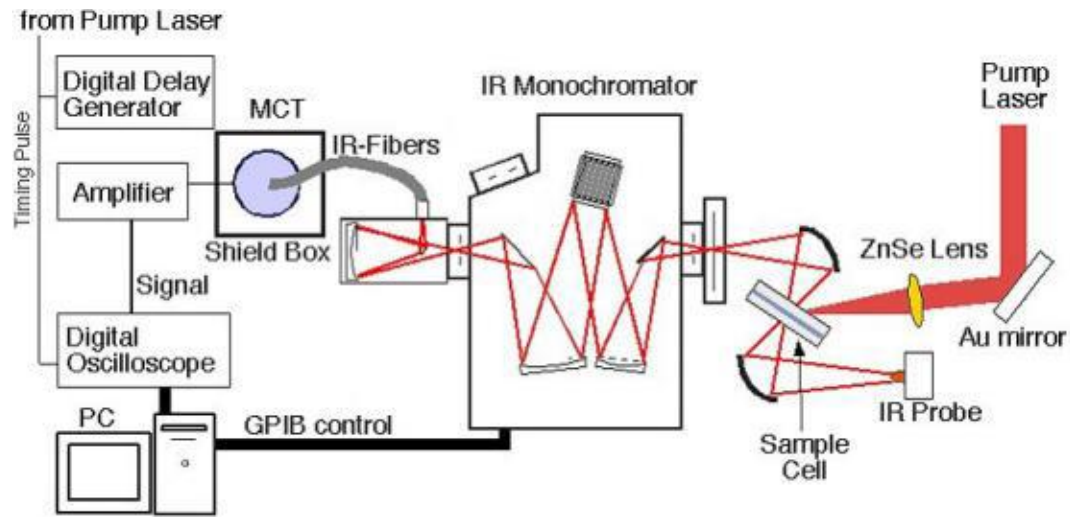


Şekil 6.19. FELSUT'ta ki Pompa sonda deney odası

Üç çeşit pompa sonda çalışması yapılmaktadır: birinci çalışmada SEL mikroatmaları pompa ve sondanın her ikisi içinde kullanılmakta; ikinci çalışmada pompa için SEL mikroatmaları kullanılırken sonda için Ti:safir lazer/OPA sisteminden elde edilen ışık kullanılmakta; üçüncü çalışmada pompa ve sonda sinyallerinin her ikisi içinde Ti:safir lazer/OPA sistemi kullanılmaktadır.

FELSUT’da yapılan pompa sonda çalışmaları arasında CO molekülünün titreşimsel uyarılmalarının incelenmesi çalışmaları da yer almaktadır.

FELSUT’da bir SEL makroatması ile etkileşme sonucunda IR spektrumda meydana gelen ns zaman çözünürlüklü değişiklikler de incelenmektedir. Bu yapının deneysel düzeneği aşağıda verilmektedir.



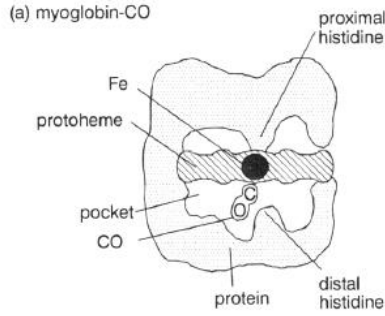
Şekil 6.20. IR ns zaman çözünürlüklü pompa sonda çalışmaları için kurulan deney düzeneği

Bu deney düzeneğinin en önemli karakteristik özelliği soğurma farkının dedekte limitinin 10^{-6} kadar düşük olmasıdır. Dedekte sistemi, ns zaman çözünürlüklü spektroskopinin gerçekleştirilebilmesi için SEL’nin makroatmalarıyla tamamen senkronizedir [59].

Dünyada pompa sonda tekniğiyle yapılan diğer çalışmaları incelersek

Vibrational dynamics of Carbon Monoxide at the active site of Myoglobin: ps IR-FEL pump probe experiments (1994) (Stanford SEL-Amerika)

Bu çalışmada Stanford SEL kullanılarak ps IR pompa sonda çalışmalarıyla myoglobin CO bağlarının titreşim yaşam ömürleri ölçülmektedir.

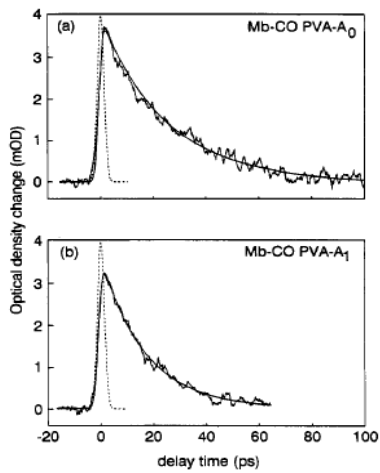


Şekil 6.21. Myoglobin-CO diyagramı

Deneyler MIR bölgede 4.7 ve 5.1 μm 'de gerçekleştirilmektedir. Myoglobin CO'in MIR çalışması ikiye ayrılmaktadır:

- 1) CO'in soğurma spektrumlarının analizi
- 2) MIR sonda ile CO'in zaman gecikmesi çalışmaları

Stanford süperiletken lineer hızlandırıcısı 10 Hz tekrarlama frekanslı SEL üretmektedir. Pompa sinyalleri $2.3 \cdot 10^4$ mikroatma ve 0.5 mJ enerjiye sahiptir. Makroatmalar 11.7 MHz tekrarlama frekansına sahiptir.



Şekil 6.22. Poly (vinyl alcohol) (PVA) içindeki Mb-CO'in A₀ ve A₁ durumlarının Stanford SEL'den elde edilen MIR sinyalleri ile ölçülen titreşimsel gevşemelerinin pompa sonda eğrileri

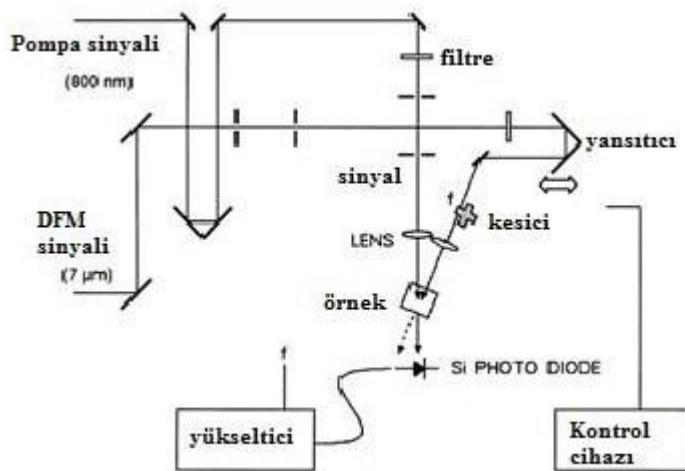
Dedektör olarak HgCdTe dedektörü kullanılmaktadır. Pompa demeti ikinci sinyal seçici ile ayrılır, bu yüzden pompa sinyali örneğe 25 kHz, sonda sinyali ise 50 kHz ile gelmektedir.

Pompa sonda tekniği ile ölçülen zaman gecikmesi 17 ile 26 ps arasında değişmektedir [60].

Femtosecond pump and probe measurement of all-optical modulation based on intersubband transition in n-doped quantum wells (2000) (Kyoto Uni-Japonya)

Bu araştırmada iki renkli fs pompa sonda çalışması, oda sıcaklığında n katkılı AlGaAs / GaAs çoklu kuantum kuyularının ortabantlararası titreşim ışığı (MIR kontrol ışığı 4-7 μm) ile optiksel modülasyonu (NIR sinyali 800 nm) olan ortabantlar arası titreşim ışığı yardımıyla incelenmesi için kullanılmıştır.

80 A° genişliğindeki GaAs/ AlGaAs n katkılı kuantum kuyuları yarıiletken lazer diyotları ile (810-850 nm) incelenmektedir. Bu yarıiletken lazer diyotları bir CO₂ lazeri (10.6 μm) ya da bir SEL (8-12 μm) gibi kullanılmaktadır.



Şekil 6.23. Deneyde kullanılan pompa sonda düzeneği

Bu çalışmada ultrakısa (200 fs) MIR ve NIR ışık OPA'dan elde edilmektedir. Elektronların gevşeme süreci ve modülasyon hızı incelenmektedir. Pompa için OPA ile fark frekans karıştırıcı (DFM) kristali kullanılmaktadır.

Bu kristal Ti:Safir lazeri ile uyarılmaktadır. OPA-DFM kristali 200 fs'li 1 kHz tekrarlamalı 4 ve 9 μm aralığında değişen ultrakısa atmaları üretebilmektedir.

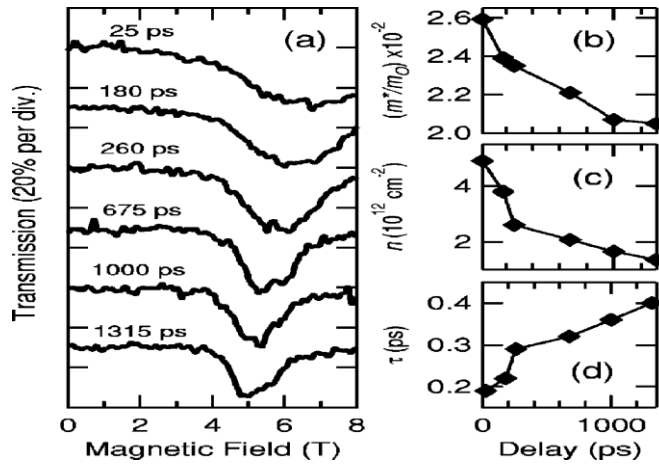
Sonuç olarak, 1.1 ve 3.1 ps'lik gevşeme zamanları ile 7.2 μm 'lik dalga boyunda soğurma piki pompa sonda tekniği ile gözlenmektedir [61].

Relaxation of quasi-two-dimensional electrons in quantizing magnetic field probed by time resolved cyclotron resonance (2003) (Stanford SEL-Amerika)

Bu çalışmada bir manyetik alan altında iki renkli pompa sonda spektroskopisi ile katkısız InSb/AlInSb kuantum kuyularında taşıyıcıların ps zaman gecikmeli siklotron titreşimleri incelenmektedir.

Zaman çözünürlüklü siklotron titreşimleri (TRCR) bir manyetik alanda ortabant taşıyıcı gevşemelerini çalışmak için geliştirilen bir tekniktir. Bu teknik, zamanın bir fonksiyonu olarak gevşeme taşıyıcılarının etkin kütesini izlemeye olanak sağlamaktadır. Bu iletim taşıyıcılarını üretmek için NIR sinyal, gecikmiş bir FIR atmada dinamikleri sonda etmek için kullanılmaktadır. InSb, TRCR için kullanılan en ideal malzemedir.

FIR kaynağı, 3 ile 80 μm arasında ayarlanabilen, enerjisi 1 μj , 600'den 2 ps'yeye kadar sinyalli demet süresi olan Stanford SEL'dir. NIR kaynağı 800 nm'lik yükseltici ile beslenen mod kilitli Ti:Safir lazerdir. FIR ve NIR demeti birleştirilmekte ve örneğe gönderilmektedir. Örnek, safir soğutmalı pencerelerle oda sıcaklığında 8 T'lık süperiletkenler içine yerleştirilmektedir.



Şekil 6.24. a-b-c-d

Şekil 6.24. a Farklı zaman gecikmelerinde manyetik alanın fonksiyonuna bağlı olarak oluşan FIR sonda atması

Şekil 6.24. b Siklotron etkin kütlesi ortalamasının zaman gecikmesine bağlı olarak değişim grafiği

Şekil 6.24. c Toplam taşıyıcı yoğunluğunun zaman gecikmesine bağlı olan değişim grafiği

Şekil 6.24. d Ortalama taşıyıcı saçılma zamanının zaman gecikmesine bağlı olan değişim grafiği

Ölçümler; 46,42 ve 38.5 μm 'de yapılmaktadır. SEL, 10 Hz'de ms makroatmalar üretmektedir (Bu atmalar 11.8 MHz'lik ps mikroatmaları içerir.) Ti:Safir osilatör SEL'nin tekrarlama frekansının 7.harmoniği olan 82.6 MHz' kilitlemektedir. Sıvı Helyum soğutmalı Ge:Ga fotoiletken dedektör FIR demetini dedekte etmek için kullanılmaktadır.

Uygulanan manyetik alana bağlı olarak 25 ps'den 1.3 ns'yeye kadar zaman gecikmeleri gözlenmektedir [62].

Phase explosion and recoil-induced ejection in resonant IR laser ablation of polystyrene (2009) (Vanderbilt-Amerika)

Bu çalışmadaki amaç malzeme olarak polystyrene kullanarak polimerlerin rezonans IR lazer ablasyonunu yapmaktır. Bunun için polystyrene hedefin titreşim modlarına uygun MIR lazer dalgaboyları kullanılmaktadır.

Ablasyon çalışmaları Vanderbilt SEL ile yapılmaktadır. MIR dalgaboyu olarak 2-10 μm kullanılmaktadır. Pompa olarak SEL, sonda olarak ise N_2 lazer kullanılmaktadır. Pompa ve sonda arasındaki zaman gecikmesi elektronik gecikme jeneratörü ile değiştirilmektedir.

Dalgaboyu 3.43 μm 'de akı 9.2 J/cm^2 'de iken, ablasyon daha büyükken, daha düşük akı değerleri için 5.2, 2.3 J/cm^2 gibi, aynı sıcaklık ve aynı dalgaboyunda ablasyon daha küçük olmaktadır [63].

7. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından desteklenen, Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde toplam 11 üniversitenin katılımı ile yürütülen, YUUP (Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslararası Proje) projesi kapsamında kurulması planlanan, Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM) TARLA tesisinde süperiletken doğrusal hızlandırıcıdan elde edilecek serbest elektron lazerinin kullanılacağı deney istasyonlarından biri olan doğrusal olmayan optik laboratuvarının tasarımı ve bu laboratuvarında uygulanacak tekniklerden biri olan Pompa Sonda Tekniği anlatılmaktadır.

Serbest elektron lazerinin elektron tabancasından itibaren elde edilmesi, elde edilen lazerin parametreleri ve bu lazerin diğer lazerlere göre avantajları tez kapsamında detaylı bir şekilde verilmektedir.

Serbest elektron lazerinin dalgaboyunun geniş bir aralıkta ayarlanabilmesi, kısa atmalara sahip olması, yüksek parlaklık ve yüksek güç üretebilmeleri gibi özellikleri sayesinde fizik, kimya, medikal gibi birçok alanda tercih edilmektedir. THM’de süperiletken doğrusal hızlandırıcıdan elde edilecek 2.5-250 μm dalgaboyundaki serbest elektron lazeri ile foton bilimi, malzeme fiziği, yarıiletken çalışmaları, biyoteknoloji ve medikal araştırmalar, doğrusal olmayan optik çalışmalar, nanoteknoloji, fotokimya çalışmaları gibi konularda araştırmalar yapılabilecektir.

Bunlara ek olarak elde edilen serbest elektron lazerinin avantajları kullanılarak, malzemede fs ve ps mertebesinde ortaya çıkan ve optiksel tepkiye sebep olan süreçler pompa sonda tekniği ile incelenebilecektir. Moleküllerin ms’den fs’ye kadar geniş bir zaman çözünürlüğü aralığında, kısa ömürlü uyarılmış (geçici) durumlarının yapısal ve elektronik özelliklerini karakterize etmek için pompa sonda tekniğinin kullanılması gerektiği tez içerisinde anlatılmaktadır.

Pompa sonda tekniği ile düşük sıcaklıktaki yarıiletkenlerde geçiş dinamiklerinin incelenmesi, uyarılmış kuantum yapıların kızılötesi ve THz optiksel davranışları üzerine çalışmalar, elektronik geçişlerde titreşimsel hareketlerin gerçek zamanlı

takibi, fononların gözlenmesi, katkılı GaAs/AlGaAs gibi süperörgülerde minibantlararası gevşemelerin gözlenmesi, myoglobin titreşim modlarının incelenmesi, çözeltilerdeki Hidrojen bağlı komplekslerin titreşimsel dinamiklerinin incelenmesi, protein modellerinin belirlenmesi gibi çalışmaların yapılabileceği anlatılmaktadır.

Dünyada IR SEL ile yapılan pompa sonda deneylerinde kullanılan deney aletleri ve enstrümantal malzemeler araştırılıp, bu aletlerden TARLA doğrusal olmayan optik laboratuvarında yapılacak olan pompa sonda deneylerinde kullanılabilecek olan deney aletleri detaylı bir şekilde listelendirilmektedir. Bu doğrultuda Ti:safir lazer, optik parametrik yükseltici, demet bölücü, kilitli yükselteç, mekanik kesici gibi aletlerin lens, ayna, mercek gibi optik malzemelerin kullanılabileceği anlatılmaktadır. Laboratuvar ortamında sıcaklığın, nemin, elektrik hatlarının, temiz odanın hangi şartlar altında olması gerektiği sıralanmaktadır. Bu bilgiler doğrultusunda kurulabilecek TARLA doğrusal olmayan optik laboratuvarı dizaynı ve laboratuvar gereksinimleri tez kapsamında anlatılmaktadır.

Tezin son kısmında ise dünyada IR SEL'den elde edilen ışınım ile pompa sonda tekniğini kullanarak çalışmalar yapan araştırma merkezleri ve bu merkezlerde yapılan pompa sonda çalışmalarından bahsedilmektedir. Bu doğrultuda CLIO (Fransa) IR SEL merkezi ve burada yapılan InAs/GaAs kuantum noktalarındaki polaron azalışın pompa sonda analizleri, iki renkli çalışmalar, GaAs kuantum kuyularındaki ortabantlararası yaşam ömürlerinin zaman çözünürlüklü çalışmaları, yoğun fazlardaki titreşimsel gevşemelerin pompa sonda ölçümleri gibi çalışmalar anlatılmaktadır. HZDR (Almanya) IR SEL merkezi ve bu merkezde yapılan kuantum kuyu taşıyıcı dinamikleri üzerine çalışmalar, elektriksel olarak uyarılmış kuantum yapıların IR ve THz optiksel davranışları üzerine çalışmalar, THz frekans aralığında doğrusal olmayan optik çalışmalar anlatılmaktadır. FELIX (Hollanda) IR SEL merkezi ve bu merkezde yapılan silikon içindeki Si-h bağı modlarının incelenmesi, SiGe kuantum kuyularının yaşam ömürlerinin gözlenmesi, protein dinamiklerinin araştırılması, AlGaAs- GaAs kuantum kuyularındaki ortabantlararası yaşam ömürlerinin FIR pompa sonda tekniği ile incelenmesi gibi çalışmaların yapıldığı

anlatılmaktadır. FELSUT IR SEL merkezi ve bu merkezde yapılan CO molekülünün titreşimsel uyarılmalarının incelenmesi çalışmaları anlatılmaktadır. Son olarak da bu merkezler dışında IR SEL ile pompa sonda tekniğini kullanarak yapılan çalışmalar özetlenmektedir.

Bu tez çalışmasından da görüldüğü gibi, kurulacak olan süperiletken doğrusal hızlandırıcıya dayalı THM TARLA tesisinde elde edilecek serbest elektron lazerinin kullanıldığı, doğrusal olmayan optik laboratuvarında uygulanacak pompa sonda tekniğiyle, malzemenin elektronik ve optiksel özelliklerinin belirlenmesi gibi malzeme ve yüzey fiziği araştırmalarının; kuantum kuyularındaki bantlararası yaşam ömürlerinin gözlenmesi, kuantum yapıların IR ve THz davranışlarının incelenmesi gibi kuantum yarıiletken çalışmalarının ülkemizde dünya ölçeğinde yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Sultansoy S., “ Parçacık Hızlandırıcıları: Dün, Bugün, Yarın”, *I.Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi*, TAEK, Ankara, (2001).
2. Tural M., “IR SEL’in Temel ve Uygulamalı Araştırmalarda Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üni.Fen Bilimleri Ens.*, Ankara, 4-6,41, (2008).
3. Gezgin S., “Serbest Elektron Lazeri Parametrelerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Ens.*, Isparta, 34-39,47 (2009).
4. Ozansoy A., “ Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri Elektron Kaynağı ve Özellikleri”, *III.YUUP Çalıştayı*, Ankara, (2007).
5. Özkorucuklu S., “THM Kızılötesi Serbest Elektron Lazeri İçin Teknoloji, Opsiyon Seçimi, Gerekçeler”, *VI.YUUP Çalıştayı*, Ankara, (2008).
6. Akkurt İ.,... “ *Design Report on TAC IR FEL and Bremsstrahlung Facility*”, Ankara, (2008).
7. Tekin S., “ Osilatör SEL Sisteminde Optik Kavite Yapıları ve Lazer Kazanç Mekanizmaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üni.Fen Bilimleri Ens.*, 25, (2008).
8. Turner S., “Synchrotron Radiation and Free Electron Lasers”, CERN European Organization for Nuclear Research, **CAS CERN Accelerator School**, (1990).
9. Yıldız.H.D.,“THM Test Laboratuvarı IR SEL Optik Kavite için Ayna Mekanizması”, *III.YUUP Çalıştayı*, Ankara, (2007).
10. Öztekin E., “SEL’de Klasik ve Kuantum Mekaniksel Kazanç Hesapları”, Doktora Tezi, *Gazi Üni.Fen Bilimlerli Ens.*, Ankara, (1991).
11. Wiedemann H.,Synchrotron Radiation, **Springer-Verlag Berlin Heidelberg**, 274, Almanya, (2003).
12. Krishnagopal S., Free Electron Lasers *Current Science Vol. 87, No. 8.*,(2004).
13. Kaya Ç., “IR SEL Kullanım Alanları ve Teknikleri”, *IV.YUUP Çalıştayı*, Ankara, (2007).
14. Tural M., “IR SEL ile Mikroskopi ve Spektroskopi Uygulamaları”, *Ankara Üni.Fizik Müh. Bölümü*, Ankara, (2007).
15. İnternet : Türk Hızlandırıcı Merkezi
<http://thm.ankara.edu.tr> (2011).

16. Özkorucuklu S., “ Status of TARLA”, *III.ISAC Meeting*, Ankara, (2011).
17. Arıkan P., “The Status of Experimental Stations”, *ISAC-IMAC Raporu*, Ankara, (2011).
18. Özkorucuklu S., “*The Technical Design Report of Turkish Accelerator and Radiation Laboratory at Ankara (TARLA)*”, Ankara, (2011).
19. Kyriaki K, Time Resolved Spectroscopy, “UV Pump IR Probe Spectroscopy of Molecules with Time Resolution Reaching the 10 fs Range”, *München*, 49 (2008).
20. Ombinda S. “Femtosecond PumpProbe Spectroscopy for Investigation of Ultrafast Energy Transfer Process in Biological Samples, Techniques and Characterization” , *SAIP, University of Limpopo*, (2008).
21. İnternet : Andor Technology
<http://www.andor.com> (2011).
22. İnternet : Universita degli Studi della Tuscia
<http://www.unitus.it> (2011).
23. E.M.H.P van Dijk “ Single molecule Pump Probe Experiments Reveal Variations in Ultrafast Energy Redistribution”, *The Journal of Chemical Physics*, 123, (2005).
24. İnternet : RP Photonics
<http://www.rp-photonics.com> (2011).
25. İnternet : Purdue University
<http://www.physics.purdue.edu> (2011).
26. İnternet : National Institute for Material Science
<http://www.nims.go.jp> (2011).
27. İnternet : National Institute of Standards and Technology
<http://www.nist.gov> (2011).
28. Hamaguchi H, Iwata K. “*FELSUT report*”, No:3,80, (2002).
29. İnternet : Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf
<http://www.hzdr.de> (2011).
30. Kaertner F.,Ultrafast Measurements Techniques, *Ultrafast Optics*, 371-376, (2005).

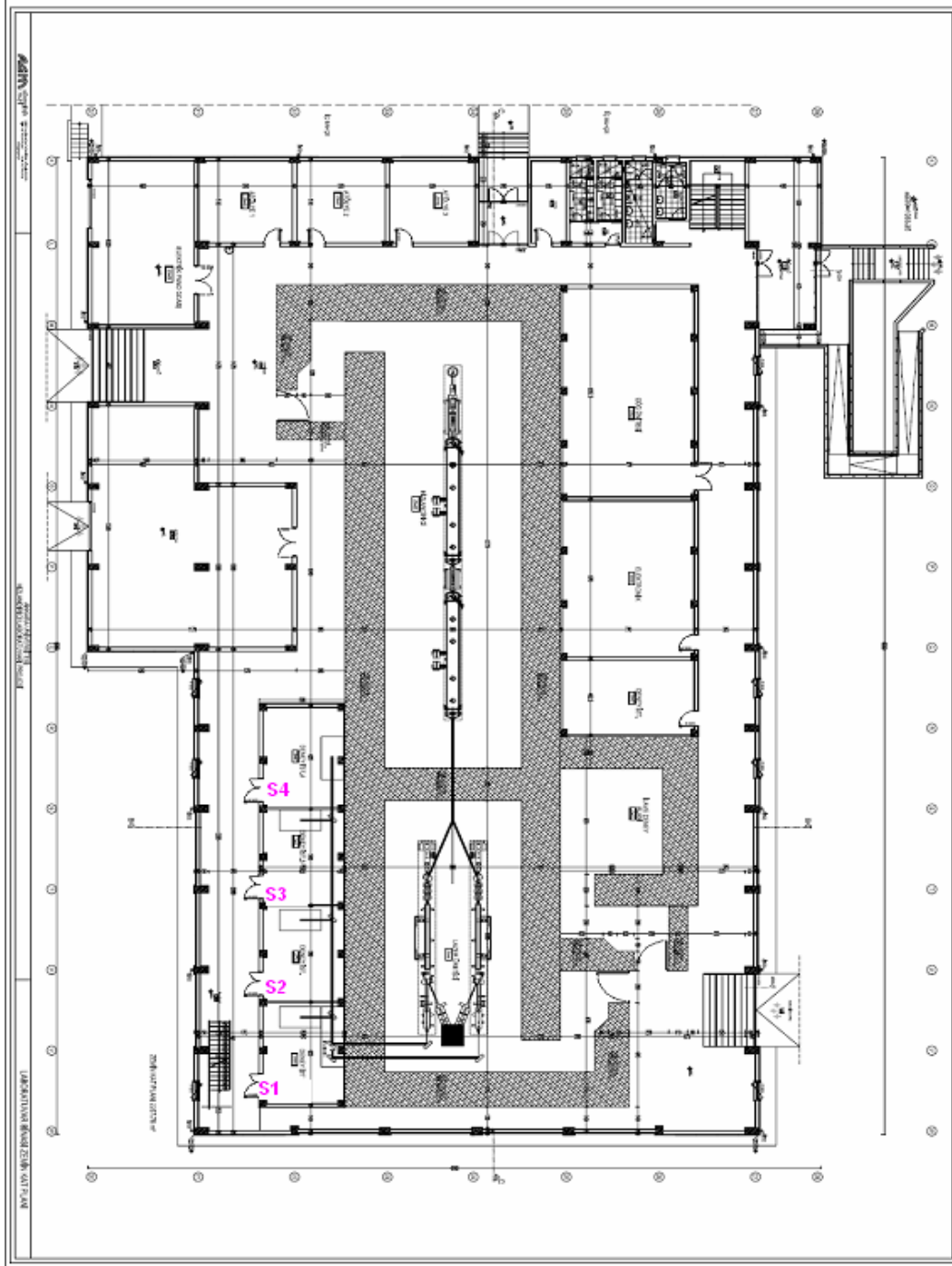
31. Esentürk O., “Experimental Stations and Startup Techniques”, *ISAC III Meeting*, İstanbul, (2011).
32. Altan H., “*TARLA PPT Laboratuvarları Genel Bütçe Analizi Raporu*”, Ankara, (2011).
33. İnternet : Coherent Company
<http://www.coherent.com> (2011).
34. İnternet : Spectra Physics Company
<http://www.newport.com/spectra-physics> (2011).
35. İnternet : Newport Company
<http://www.newport.com> (2011).
36. İnternet : Covesion Company
<http://www.covesion.com> (2011).
37. İnternet : Tensor Technologies
<http://www.tensortechnologies.com> (2011).
38. İnternet : Thorlabs Company
<http://www.thorlabs.com> (2011).
39. İnternet : Mettallurgical Technologies
<http://www.met-tech.com> (2011).
40. İnternet : Tydex Company
<http://www.tydex.ru> (2011).
41. İnternet : Advanced Research Systems Company
<http://www.arscryo.com> (2011).
42. İnternet : Semiwafer Company
<http://www.semiwafer.com> (2011).
43. İnternet : Reynard Corporation
<http://www.reynardcorp.com> (2011).
44. Kawahata K. “ Two color far infrared laser interferometer”, *Review of Scientific Instruments* 77, (2006).
45. İnternet : Infrared Laboratories
<http://www.irlabs.com> (2011).
46. İnternet : Stanford Research Systems
<http://www.thinkSRS.com> (2011).

47. Internet : Signal Recovery Company
<http://www.signalrecovery.com> (2011).
48. Internet : Centre Laser Infrarouge d'Orsay
<http://clio.lcp.u-psud.fr> (2011).
49. Bras. F. "Pump-probe analysis of polaron decay in InAs/GaAs self-assembled quantum dots", *Semiconductor Science Technology*, 10-13, (2005).
50. Internet : Free Electron Laser Zentrum Dresden
<http://www.fzd.de> (2011).
51. Grosse E. "THz radiation from free electron lasers and its potential for cell and tissue studies", *Physics in Medicine and Biol.* **47**, 3755-3760, (2002).
52. Stehr.D. "Pump-probe spectroscopy of interminiband relaxation and electron cooling in doped superlattices", *Applied Physics Letters*, 88, (2006).
53. Grimm C.V. "Intersubband relaxation dynamics in single and double quantum wells based on strained InGaAs/AlAs/AlAsSb", *Applied Physics Letters*, 91, (2007).
54. Stehr D., "Two-color pump-probe studies of intraminiband relaxation in doped GaAs/AlGaAs superlattices", *Applied Physics Letters*, 92, (2008).
55. Bhowmick M. "Time Resolved Spectroscopy of InMnAs Using Differential Transmission Technique in Mid-Infrared", *Science Direct*, Physics Procedia, 1167-1170, (2010).
56. Internet : FOM Instituut voor Plasmapysica Rijnhuizen,
<http://www.rijnhuizen.nl> (2011).
57. Jobson K.W., "Mid-infrared pump-probe spectroscopy of Si-H stretch modes in porous silicon", *Science Direct Optical Materials* **30**, 740-742, (2008).
58. Minissale S. "Microscopic evidence for role of oxygen in luminescence of Er³⁺ ions in Si: Two-color and pump probe spectroscopy", *Physical Review* **B78**, (2008).
59. Internet : Infrared Free Electron Laser Research Center
<http://www.rs.noda.sut.ac.jp/~felsut/english/index.htm> (2011).
60. Hill J.R. "Vibrational Dynamics of Carbon Monoxide at the Active Site of Myoglobin: Picosecond Infrared Free-Electron Laser Pump-Probe Experiments", *J. Physics Chemistry*, 98, 11213-11219, (1994).

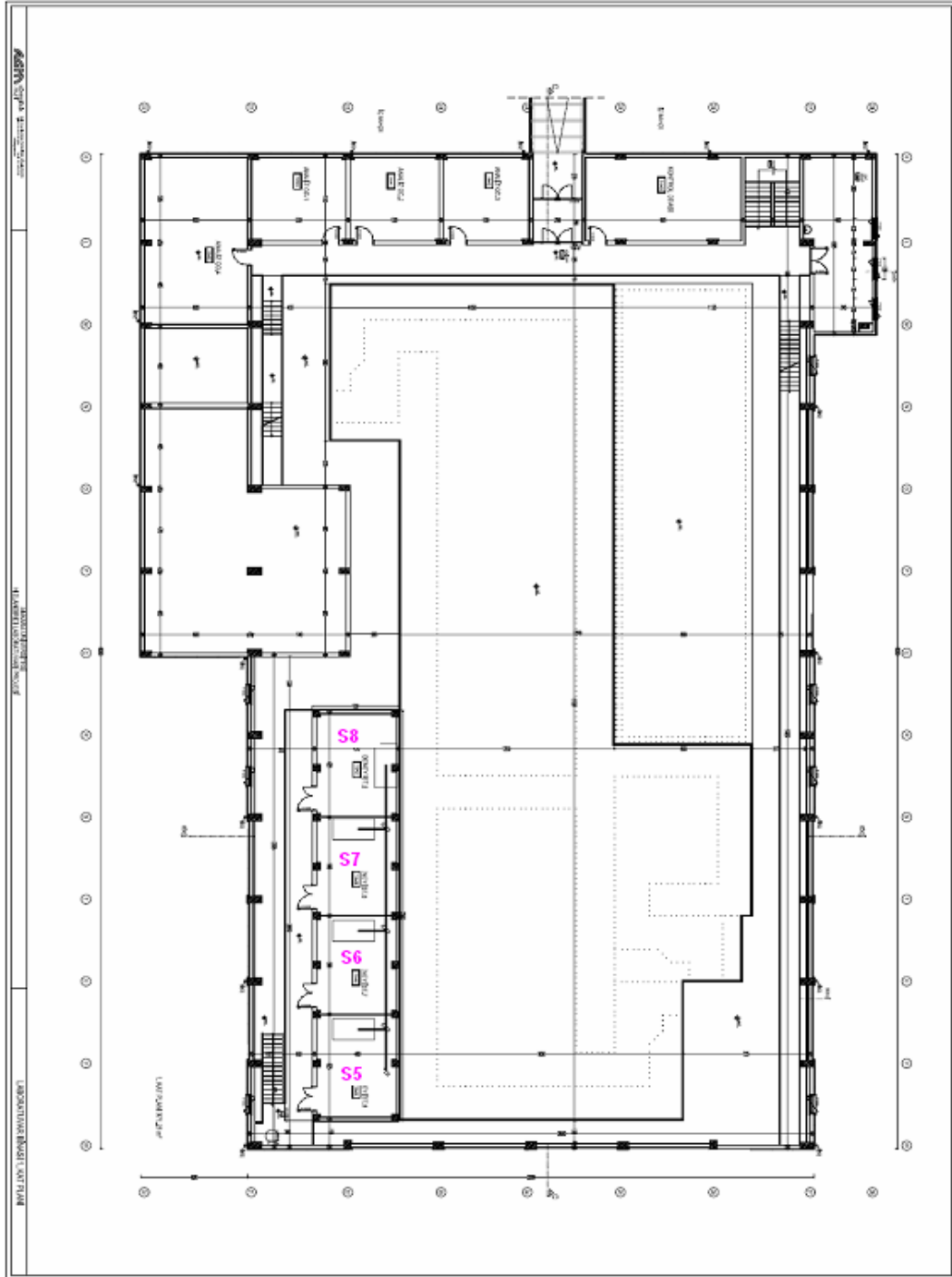
61. Asono T. “Femtosecond pump and probe measurement of all-optical modulation based on intersubband transition in n-doped quantum wells”, *Physica E.*, 704-708, (2000).
62. Khodaparast. “Relaxation of quasi-two-dimensional electrons in a quantizing magnetic field probed by time resolved cyclotron resonance”, *Physical Review B* **67**, (2003).
63. Johnson S.L “Phase explosion and recoil-induced ejection in resonant-infrared laser ablation of polystyrene”, *App.Phys.A* **96**,627-635, (2009).
64. Internet : Eksmaoptics Company
<http://www.eksmaoptics.com> (2011)
65. Internet : International Crystal Laboratories
<http://www.internationalcrystal.net> (2011)

EKLER

EK-1 THM IR SEL Deney İstasyonları S1,S2,S3,S4 Zemin Kat Planı



EK-2 THM IR SEL Deney İstasyonları S5,S6,S7,S8 Birinci Kat Planı



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : UŞUN, Ayşegül
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 27.11.1987 Bursa
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (533) 464 87 59
e-mail : aysegulusun@gmail.com

Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi | Mezuniyet tarihi |
|--------|---------------------------------|------------------|
| Lisans | Gazi Üniversitesi/ Fizik Bölümü | 2009 |
| Lise | Bursa Anadolu Erkek Lisesi | 2005 |

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tenis, Yüzme, Dağ Yürüyüşü