

**KIRMIZIALTI SERBEST ELEKTRON LAZERİNİN
(KA-SEL) FİZİK VE KİMYA UYGULAMALARI**

Özden KONAKÇI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2011
ANKARA**

Özden KONAKÇI tarafından hazırlanan ‘‘KIRMIZIALTI SERBEST ELEKTRON LAZERİNİN (KA-SEL) FİZİK VE KİMYA UYGULAMALARI’’ adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Metin YILMAZ
Tez Danışmanı Fizik Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Pervin ARIKAN
Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Metin YILMAZ
Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ömer YAVAŞ
Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Tarih: 19.01.2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Özden KONAKÇI

KIRMIZIALTI SERBEST ELEKTRON LAZERİNİN (KA-SEL) FİZİK VE KİMYA UYGULAMALARI

(Yüksek Lisans Tezi)

Özden KONAKÇI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2011

ÖZET

Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin (KA-SEL) Fizik ve Kimya Uygulamaları adlı tez çalışmasında, ilk olarak Serbest Elektron Lazeri (SEL) ve SEL fiziği genel olarak açıklanmıştır. Daha sonra SEL'lerin klasik lazerlerle karşılaştırıldıklarında sahip oldukları avantajları ve bu avantajları sayesinde, kırmızıaltı serbest elektron lazerleri ile gerçekleştirilebilen fizik ve kimya uygulamaları araştırılmıştır.

Gerçekleştirilen araştırmalar neticesinde SEL'lerin kullanımı ile fizik ve kimya alanlarındaki uygulamalar belirlenmiştir. Bunlar fizik alanında yoğun madde fiziği, katıhal fiziği, yüzey fiziği, plazma fiziği, nanoteknoloji uygulamaları iken, kimya alanında; fotokimya, mod seçici kimya, izotop ayrımı, ince film üretimi, spektroskopik ve mikroskopik uygulamaları alt başlıklarında toplanarak açıklanmıştır.

Ayrıca bu uygulamaların gerçekleştirilmesinde kullanılan Lazer Depolama İşlemi (PLD), Kırmızıaltı Matris Yardımlı Lazer Desorpsiyon/İyonlaşmalı Kütle Spektroskopisi (IR MALDI MS), Kırmızıaltı Matris Yardımlı Atmalı Lazer ile Buharlaştırma (IR MAPLE), Kırmızıaltı Rezonans Artırıcı Çoklu Foton İyonizasyonu (IR REMPI), Yüzey Etkisi Artırılmış Lazer

Desorpsiyon/İyonizasyon Kütle Spektrometresi (SELDI MS), Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazeri ile Fotoakustik Spektroskopi (SEL-PAS) gibi yöntem ve teknikler araştırılarak açıklanmıştır.

Bilim Kodu : 202.1.149
Anahtar Kelimeler : Serbest Elektron Lazeri (SEL), Infrared (IR), Kütle Spektroskopisi
Sayfa Adedi : 69
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Metin YILMAZ

**PHYSICS AND CHEMYSTRY APPLICATIONS OF INFRARED FREE
ELECTRON LASER (IR-FEL)**

(M.Sc. Thesis)

Özden KONAKÇI

**GAZI UNIVERSITY
INSTUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2011

ABSTRACT

In this thesis, Physics and Chemistry Applications of Infrared Free Electron Laser, firstly Free Electron Laser (FEL) and FEL physics have been explained generally. FELs have some advantages compared to conventional lasers, thanks to these advantages physics and chemistry applications have been investigated by IR-FEL.

The result of investigations carried out, by using FELs physics and chemistry applications have been determined. When these applications in terms of physics such as condensed matter physics, solid state physics, surface physics, plasma physics, nanotechnology applications, at the chemistry; photochemistry, mode selective chemistry, isotope separation, thin-film production, spectroscopy and microscopy applications have been explained.

To carry out these applications, Pulsed Laser Deposition (PLD), Infrared Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Mass Spectrometry (IR MALDI MS), Infrared Matrix Assisted Pulsed Laser Evaporation (IR MAPLE), Infrared-Resonance-Enhanced-Multiphoton-Ionization (REMPI), Surface-enhanced laser desorption/ionization (SELDI MS), Infrared Free Electron

Laser Photo-acoustic spectroscopy (FEL PAS) used at these applications also have been explained.

Science Code : 202.1.149

Key Words : Free Electron Laser (FEL), Infrared (IR), Mass Spectroscopy

Page Number : 69

Adviser : Assist. Prof. Dr. Metin YILMAZ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yanımda olan, deneyimlerinden ve bilgisinden yararlandığım, değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Metin YILMAZ' a, bilimsel rehberliğinin yanında her türlü yardımı ve desteği ile yanımda olan hocam Sayın Prof. Dr. Pervin ARIKAN' a, çalışmalarımda büyük yardımları bulunan başta Prof. Dr. Ömer YAVAŞ olmak üzere tüm THM YUUP ekibine ve manevi destekleriyle her zaman güç aldığım değerli aileme teşekkür ederim.

Bu çalışma “Türk Hızlandırıcı Merkezi Teknik Tasarımı ve Test Laboratuvarı” (DPT2006K–120470) adlı proje tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİK BİLGİLER.....	4
2.1. Giriş.....	4
2.2. Serbest Elektron Lazeri.....	5
2.2.1. SEL fiziği.....	8
2.3. Elektromanyetik Spektrum.....	14
2.3.1. Kırmızıaltı bölge.....	16
2.4. Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Avantajları.....	19
2.4.1. Ayarlanabilir dalga boyu	21
2.4.2. Geniş dalga boyu aralığı.....	22
2.4.3. Tekrarlanabilir kısa atmlar	22
2.4.4. Ortalama parlaklık.....	23
2.4.5. Kullanım süresi.....	24
2.4.6. Kazanç	24

Sayfa

2.4.7. Yüksek pik gücü ve ortalama güç.....	24
3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	26
3.1. Giriş	26
3.2. Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Kullanım Alanları	26
3.3. Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Fizik Uygulamaları.....	29
3.3.1. Yoğun madde fiziği uygulamaları	29
3.3.2. Katıhal fiziği uygulamaları.....	30
3.3.3. Yüzey fiziği uygulamaları.....	32
3.3.4. Plazma fiziği uygulamaları.....	33
3.3.5. Nanoteknoloji uygulamaları.....	34
3.4. Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Kimya Uygulamaları.....	37
3.4.1. Foto kimya uygulamaları.....	37
3.4.2. Mod seçici kimya	38
3.4.3. İzotop ayrımı.....	39
3.4.4. İnce film üretimi.....	41
3.4.5. Mikroskopi ve spektroskopi uygulamaları.....	42
3.5. KA-SEL ‘in Diğer Kullanım Alanları.....	43
3.6. KA-SEL İle Fizik ve Kimya Uygulamalarında Kullanılan Bazı Teknikler....	45
3.6.1. Lazer depolama yöntemi (PLD).....	45
3.6.2. Kırmızıaltı matris yardımcı lazer desorpsiyon/iyonlaşmalı kütle spektroskopisi (IR MALDI MS).....	47
3.6.3. Kırmızıaltı matris yardımcı atmalı lazer ile buharlaştırma (IR MAPLE).....	53

Sayfa

3.6.4. Kırmızıaltı Rezonans Artırıcı Çoklu Foton İyonizasyonu (IR REMPI).....	55
3.6.5. Yüzey etkisi arttırılmış lazer desorpsiyon/iyonizasyon kütle spektrometresi (SELDI).....	58
3.6.6. Kırmızıaltı serbest elektron lazeri ile foto akustik spektroskopi (SELPAS).....	60
4. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	63
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	69

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Elektromagnetik spektrumun dalga boyu, frekans ve enerji aralığı ile spektroskopi türü.....	16
Çizelge 2.2. Geleneksel lazerlerle SEL'in karşılaştırılması.....	20
Çizelge 2.3. Klasik KA lazerler ile KA SEL'in karşılaştırılması.....	21
Çizelge 2.4. Tipik elektron enerjileri ve kullanılan bölgeler.....	22
Çizelge 3.1. Dünya'da serbest elektron lazerleri kullanan bazı merkezler ve gerçekleştirilen uygulamalar.....	27
Çizelge 3.2. Dalga boyu aralıklarına bağlı moleküler etkileşimler.....	28

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Klasik lazer ile SEL'in karşılaştırılması.	6
Şekil 2.2. Salındırıcı sistemi	7
Şekil 2.3. Serbest elektron lazerinin şematik görünümü	7
Şekil 2.4. Elektromanyetik spektrum.....	15
Şekil 2.5. Kırmızı altı bölgenin sınıflandırılması.....	17
Şekil 2.6. KA-SEL'in pik gücü ve dalga boyu değerlerinin diğer lazerlerle karşılaştırılması.....	20
Şekil 3.1. İki renk SEL ile kuantum duvarlarında optik pompalama.....	31
Şekil 3.2. Jefferson laboratuvarında SEL ile karbon nanotüp üretimi.....	36
Şekil 3.3. (a) İzotop ayırım sistem cihazı (b) Deney çıktısı.....	40
Şekil 3.4. PLD'nin şematik görünümü.....	46
Şekil 3.5. MALDI MS' in şematik gösterimi.....	48
Şekil 3.6. MALDI MS için kullanılan matris örnekleri.....	48
Şekil 3.7. IR-MALDI spektrumu.....	49
Şekil 3.8. TOF çözümleyicinin şematik görünümü.....	51
Şekil 3.9. MALDI TOF MS şematik görünümü.....	52
Şekil 3.10. MAPLE tekniğinin şematik görünümü.....	53
Şekil 3.11.Rezonans iyonizasyon spektroskopisi.....	55
Şekil 3.12. IR-REMPI spektrumu.....	57
Şekil 3.13.SELDI tekniğinin şematik görünümü.....	58
Şekil 3.14. Foto akustik spektroskopi yönteminin şematik gösterimi.....	61

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. SEL ile işlenmiş polimer yüzeyin mikroskopik resmi.....	29
Resim 3.2. Mikro optik Fresnel mercekleri kullanılarak 12 mikron dalga boyunda yapılan “laser micromaching” yöntemi.	36

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Arfen akımı
α	İnce yapı sabiti
α	Kutuplanabilme yatkınlığı
c	Işık hızı
ε	Demet emitansı
F_f	Doldurma çarpanı
$F(\xi)$	Bessel düzeltmesi
γ	Lorentz faktörü
h	Planck sabiti
I	Elektron demetinin tepe akımı
I_s	Doyum gücü
$J_i(\xi)$	i. dereceden bessel fonksiyonu
λ_R	Radyasyon dalga boyu
λ_u	Salıdırıcının ardışık iki aynı kutup arasındaki uzaklık
L_U	Undulator uzunluğu
m_e	Elektronun durgun kütlesi
$\vec{\mu}$	Elektriksel dipol moment
N	Kutup sayısı
Ψ_m	Taban durumuna ait titreşim dalga fonksiyonunu
Ψ_n	Uyarılmış duruma ait titreşim dalga fonksiyonunu
θ	Elektronun geliş doğrultusu ile gözlem doğrultusu arasındaki açı
Σ_g	Optik tesir kesiti
σ_x, σ_y	Elektron demetinin enine kesitleri

Simgeler**Açıklama**

η	Kavite kayıpları
ω	SEL demetinin bel ölçüsü

Kısaltmalar**Açıklama**

AC	Alternatif akım
BESSY	Berlin sinkrotron ışıyım laboratuvarı
CERN	Avrupa nükleer araştırma merkezi
CW	Sürekli dalga
DC	Doğru akım
ELBE	Electron linear accelerator of high brilliance and low emittance
FEL	Free electron laser
FIR	Uzak kızılötesi
FT	Fourier dönüşümü
FTIR	Fourier transform infrared
GeV	Giga elektron volt
GHz	Giga hertz
IR	Infrared
K	Salıdırıcının kuvvet parametresi
KA	Kırmızıaltı
KA-SEL	Kırmızıaltı serbest lektron lazeri
LHC	Large hadron collider
NMR	Nükleer manyetik rezonans
PA	Fotoakustik
pC	Piko coulomb
PEG	Polietilen glikol
ps	Piko saniye
RF	Radyo frekans
SASE	Kendiliğinden genlik artırımı yayını

Kısaltmalar	Açıklama
SEL	Serbest elektron lazeri
SF	Toplam frekans
SFG	Toplam frekans jenerasyonu
Si	Süper iletken
TAC	Turkish accelerator center
TeV	Tera elektron volt
THM	Türk hızlandırıcı merkezi
THM KA-SEL	Türk hızlandırıcı merkezi kırmızıaltı serbest elektron lazeri
TR	Time resolved
UV	Ultraviyole
VUV	Vakum ultraviyole
YEF	Yüksek enerji fiziği
YUUP	Yaygınlaştırılmış ulusal ve uluslararası proje

1.GİRİŞ

21.Yüzyılın 10 jenerik teknolojisinden 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. Bugün dünyada uygulamalı araştırmalara, teknolojik ve tıbbi uygulamalara yönelik 15000 den fazla hızlandırıcı çalışmaktadır.

Temel parçacık fiziği araştırmaları bakımından hızlandırıcılar iki ana sınıfa ayrılır. Bunlar, TeV skalasının incelenmesine yönelik hızlandırıcılar ve parçacık fabrikalarıdır. Birinci sınıfa ait hızlandırıcılar listesine hadron çarpıştırıcıları, lineer elektron-pozitron çarpıştırıcıları, müon çarpıştırıcıları ve linak-halka tipli elektron-hadron çarpıştırıcıları dâhildir. İkinci sınıf ise daha düşük enerjili parçacık fabrikalarıdır[1].

Uygulamalı araştırmalar bakımından da parçacık hızlandırıcılar iki ana sınıfa ayrılabilir. Birinci sınıf Sinkrotron Işınımı Kaynaklarını ve Serbest Elektron Lazerlerini (SEL) içermektedir. İkinci sınıf ise proton ve iyon hızlandırıcıları ile birlikte, hızlandırılmış protonların durgun hedef ile çarpıştırılması sonucu oluşan ikincil demetlerdir [1].

Birinci kısmı oluşturan Sinkrotron Işınımı ilk olarak 1945'te tesadüfen gözlemlenmiş ve bilimsel kullanımı ile birlikte çok hızlı gelişmeler kaydedilmiştir. 1950'lerde dairesel elektron sinkrotronları kullanılmaya başlanmış, 1968'de bunların yerini daha üstün özelliklere sahip olan elektron depolama halkaları almıştır [2]. Depolama halkası kaynakları üç nesil olarak gelişmiştir. Birinci nesil halkaların tamamı yüksek enerji fiziği araştırmaları için yapılmıştır. İkinci nesil ışınım kaynakları doğrudan ışınım kaynakları olarak yapılmıştır. Üçüncü nesil halkalar ise 1992'den beri daha düşük demet yayınına (emitans) sahip elektron demetleri ve çok kutuplu salındırıcı (undulator) ve zigzaglayıcı (wiggler) magnetler içermektedir. Bu magnetler ile ışının gücü 10^4 kat daha artırılmıştır. Performans düzeyi arttıkça dördüncü nesil

ışınım kaynakları için hedeflenen parlaklık, koherentlik ya da atma süresinin kısalığı gibi önemli parametrelerde, önceki nesil ışınım kaynaklarına göre daha iyi neticeler elde edilmiştir. Dördüncü nesil ışınım kaynakları; üçüncü nesil ışınım kaynaklarındaki yayınım değerinden daha düşük yayınım (<20 nm rad) değerine ve koherentliğin tam aktarıldığı ps altı atmalara sahip olan, vakum ultraviyolede (VUV) sert X ışını spektral bölgesini tarayabilen Serbest Elektron Lazerleridir [3,6].

Günümüzde pek çok kurulmuş veya kurulma aşamasında olan SEL tesisi bulunmaktadır. Çoğu kırmızıaltı bölgede ışınım elde eden bu tesisler klasik lazerler ile mümkün olmayan, yılda ortalama 2000 saat gibi uzun çalışma sürelerine sahiptir. Elde edilen demetin birkaç piko saniye mertebesinde kısa atmalara sahip olması, dalga boyunun geniş bir spektrumda ayarlanabilir olması ve büyük optik kazançla sahip olması bu lazerlerin klasik lazerlere göre daha kullanışlı olduğunu ortaya koymaktadır. Serbest Elektron Lazerlerinin sahip olduğu bu karakteristik özellikler birçok alanda çalışan araştırmacılar ve bu alanlarda ürün geliştiren sanayi çevreleri için modern bir araştırma ortamı ve aracı olmaktadır [4,5]. Serbest elektron lazerleri temel ve uygulamalı bilimlerde araştırmanın yanı sıra malzeme bilimi, nanoteknoloji, foto-kimya, yarı iletken yapılar, lineer olmayan optik, atom ve molekül fiziği, yüzey ve arayüzey fiziği, lazer optiği, biyoteknoloji, tıp, polimer bilimi ve daha birçok uygulama alanında kullanılmaktadır [3,7,8].

Bu tez kapsamında kırmızıaltı bölgede Serbest Elektron Lazeri kullanılarak fizik ve kimya alanlarında gerçekleştirilen uygulamalar araştırılmıştır. Bu amaçla tezin ilk bölümünde kısaca giriş yapılmış ve içerikten bahsedilmiştir. Teorik bilgiler kısmında ise, Serbest Elektron Lazeri ve fiziği açıklanmış, SEL'in klasik lazerlerle karşılaştırılması yapılmış, elektromagnetik spektrum, kırmızıaltı bölge ve geçiş kurallarından bahsedilmiştir. Son olarak ta SEL'in avantajları açıklanarak tezin üçüncü bölümü olan araştırmalar ve bulgular kısmına geçilmiştir. Bu bölümde KA-SEL'in fizik ve kimya uygulamaları; fizik alanında; yoğun madde fiziği, katıhal fiziği, yüzey fiziği, plazma fiziği, nanoteknoloji uygulamaları, kimya alanında ise; fotokimya, mod seçici kimya, izotop ayrımı, ince film üretimi, spektroskopi ve mikroskopi uygulamaları alt başlıklarında toplanarak açıklanmıştır. Ayrıca bu

uygulamaların gerçekleştirilmesinde kullanılan Lazer Biriktirme İşlemi (PLD), Kırmızıaltı Matris Yardımlı Lazer Desorpsiyon/İyonlaşmalı Kütle Spektroskopisi (IR MALDI MS), Kırmızıaltı Rezonans Artırıcı Çoklu Foton İyonizasyonu (IR REMPI), Kırmızıaltı Matris Yardımlı Atmalı Lazer İle Buharlaştırma (IR MAPLE), Yüzey Etkisi Arttırılmış Lazer Desorpsiyon/İyonizasyon Kütle Spektrometresi (SELDI MS), Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazeri ile Fotoakustik Spektroskopi (SEL-PAS), gibi yöntem ve tekniklerden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde ise yapılan çalışmalar değerlendirilerek tezin son bölümü olan sonuç ve tartışmalar kısmında açıklanmıştır.

2.TEORİK BİLGİLER

2.1. Giriş

Radyasyon kaynakları üzerinde yapılan araştırmaların başarısı, günümüzde önemli bir yer tutmaktadır. Bu araştırmaların en önemli ürünü ise, lazerlerdir. Lazer, “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” cümlesinin baş harflerinden türetilmiştir ve uyarılmış radyasyon ile ışığın kuvvetlendirilmesi anlamına gelmektedir. Normal ışık, dalga boyları, farklı faz ve frekansa sahip dalgalardan meydana gelirken, lazer ışığı yüksek genlikli, aynı fazda, birbirine paralel, tek renkli (monokromatik), aynı frekanslı dalgalardan ibarettir. Dalga boyunun küçük olması dağılmayı da büyük ölçüde azaltır. Uyarılan atomlar her yön yerine belli yönlerde hareket ederler. Bu lazerin çok parlak olmasını doğurur. Lazer ışını, dalga boyu tek olduğundan monokromatik özellik taşır. Lazer ışını dağılmaz olduğundan kısa darbeler halinde yayınlanabilmesi mümkündür. Kayıpsız yüksek enerji nakli yapılması bu özelliği ile sağlanabilir. Lazer ışını tek dalga boyuna sahip olduğu için lazer cinsine göre çeşitli renkte ışınlar elde etmek mümkündür.

Lazer teknolojileri ile birlikte bilimsel ve endüstriyel alanında pek çok gelişme ve ilerleme kaydedilmiş, hep bir adım ileriye hedeflenmiştir. Bu amaçla zaman içinde klasik lazerler ile ulaşılamayan ayarlanabilir dalga boyu aralıkları, yüksek pik gücü ve kısa atmalara duyulan ihtiyaç bu alanda çalışan uzmanlar tarafından yüksek enerjili, eş fazlı yeni ışınım kaynağı arayışını ortaya koymuştur. Bu arayışlar SEL fikrini de beraberinde getirmiştir.

SEL ile ilgili ilk çalışmalar Stanford Üniversitesinden Hans Motz (1951) ile başlamıştır. Motz, dalgalı magnetik alandaki elektron demetinden yayınlanan ışığın spektrumunu incelemiştir. Motz ve çalışma arkadaşları yaptıkları deneylerle, elektromagnetik spektrumun milimetrik dalga boyunda koherent ışımaya elde etmişlerdir [4].

John Madey'in çalışmaları ile (1971–1974) SEL'e ilgi yeniden artmıştır. Enine magnetik alanda, rölativistik elektronlar tarafından uyarılmış ışıma olayı incelenmiştir. [5].

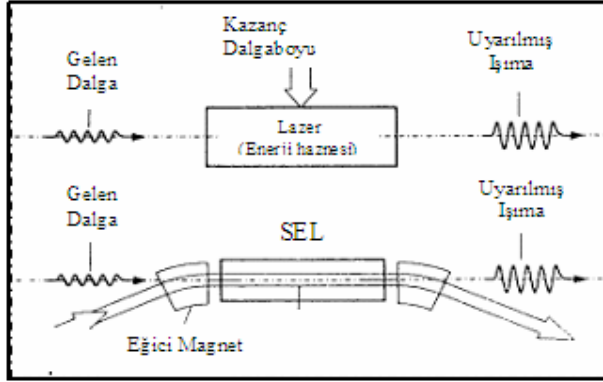
1976'da Stanford'dan L. R. Elias ve arkadaşları uyarılmış ışıma ile ilk başarılı deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Bir yıl sonra D.A.G. Deacon ve arkadaşları tarafından SEL prensibi osilatör etkisine deneysel olarak ilk defa uygulanmıştır.

1977'den sonra çalışmalar; yalnızca Serbest Elektron Lazerlerinin fiziği ve elektron-foton etkileşmelerini test etmekle kalmamış, aynı zamanda bilimsel araştırmalarda da kullanılmıştır. Dünyada şu anda milimetreden ultraviyole bölgesine kadar olan spektrum aralığında 30 kadar osilatör SEL çalışır durumdadır. Bu kaynakların gelişmesini sağlayan karakteristikler, istenilen ölçüde yüksek pik ve ortalama güç, yüksek mikro atma enerjileri, dalga boyu ayarlanabilirliği, zamanlama esnekliği ve bilinen lazer kaynaklarında mevcut olmayan dalga boylarına erişilebilmesidir. Günümüzde araştırmacılar; ayarlanabilirlik, yüksek pik gücüne bağlı olan yüksek tekrarlanabilirlik oranları, ortalama güç, yüksek mikro atma enerjileri, zaman esnekliği ve frekans modülasyonlu atmalara ihtiyaç duyduğundan klasik lazerlerden daha çok SEL kullanımına yönelmektedirler [2].

2.2. Serbest Elektron Lazeri

Katı, sıvı, gaz ve yarıiletken lazerlerinden farklı olmak üzere lazer aktif ortamı olmadan da lazer elde etmek mümkündür. Rölativistik hızlarda serbest olarak hareket eden elektronların magnetik alan ile etkileşmesi sırasında elektronlar bir lazer aktif ortamı gibi davranarak lazer ışıınımı oluştururlar. Bu şekilde oluşan lazerlere, Serbest Elektron Lazerleri denir.

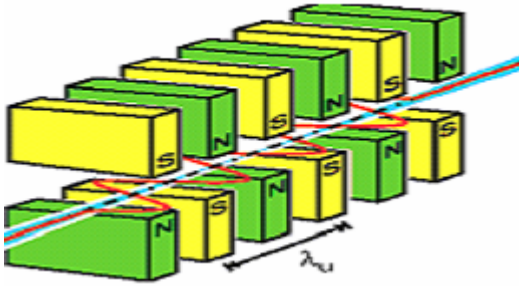
Klasik lazerler ile SEL'in karşılaştırılması Şekil 2.1' de gösterilmiştir. Lazerde enerji haznesi olarak kullanılan ortamın yerini SEL'de serbest elektron demeti almıştır.



Şekil 2.1. Klasik lazer ile SEL'in karşılaştırılması.

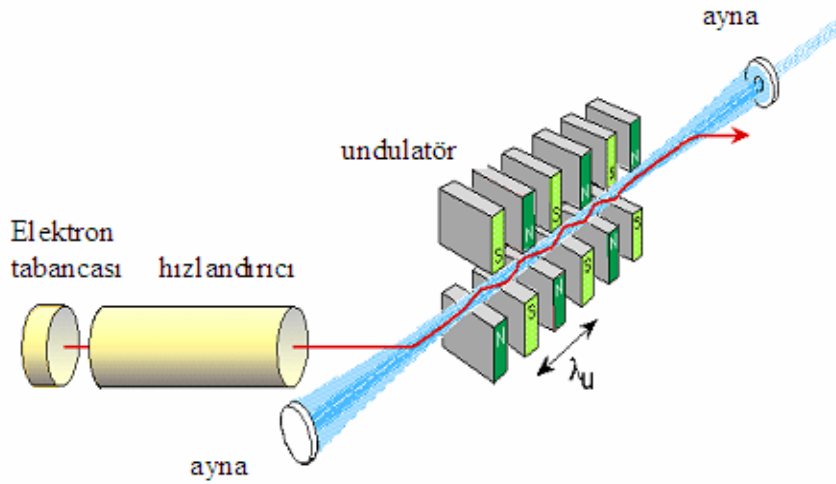
Klasik bir lazerde, bir hazne içerisinde dalga hareketi vardır ve hazneden genliği yükseltilmiş ve aynı frekansa sahip uyarılmış ışınım indüklenir. Uyarılmış enerji optik pompalama yoluyla elde edilir. Bir serbest elektron lazerinde ise enerji alışverişi sınır elektronlarının kuantum geçişleriyle değil, bir manyetik alan içerisinde serbestçe salınan elektron demetindeki elektronların, manyetik alanla etkileşimleri aracılığıyla olmaktadır. Serbest Elektron Lazeri ismi de buradan gelmektedir [6].

Serbest Elektron Lazerlerinde, elektron tabancasından elde edilen serbest elektronlar, lineer hızlandırıcılar (linak) veya sinkrotron gibi elektron hızlandırıcıları ile yüksek enerjilere ulaşmaktadır. Serbest Elektron Lazeri, temelde elektronun kinetik enerjisini eş fazlı elektromanyetik ışımaya dönüştürme prensibi ile çalışmaktadır. Bu dönüşümde salındırıcı adı verilen magnetlerin oluşturduğu sinüsel manyetik alanın etkisi kullanılmaktadır. Şekil 2.2' de bir salındırıcı sistemi gösterilmiştir. Elde edilen serbest elektron lazeri, sürekli ve ayarlanabilir bir dalga boyuna sahip olup, fs ve ps mertebesinde atmlar üretir ve pik güçleri oldukça yüksektir. Işınım, elektron demetinin yapısına bağlı olarak sürekli veya ns, ps gibi çok kısa uzunluklu atmlar şeklinde elde edilebilir [7].



Şekil 2.2. Salındırıcı sistemi

Şekil 2.3’de bir serbest elektron lazerinin oluşumunun şematik görünümü verilmektedir. Serbest Elektron Lazerleri; şekilde de gösterildiği gibi elektron hızlandırıcıları, salındırıcı magnetler ve optik kaviterler olmak üzere üç ana parçadan oluşmaktadır.



Şekil 2.3. Serbest elektron lazerinin şematik görünümü

Bu sistemde elektron hızlandırıcıları ile elektron kaynağından sökülen elektronların rölativistik hızlara ulaşması sağlanır. MeV ya da GeV mertebesine hızlandırılan bu elektronlar, elektron hızlandırıcılarından çıkarak salındırıcı magnetlere gönderilirler. Serbest elektron, salındırıcıdan geçerken bu magnetlerin oluşturduğu sinüsel enine manyetik alana maruz kalırlar. Bu şekilde salındırıcılar ile oluşturulan manyetik alan rölativistik hızlara erişmiş olan elektron ile etkileşime girerek ışıınım elde edilir. Elde edilen bu ışıınım belirli bir vakum altında çalışan optik kavite içinde güçlendirilir ve ayna tarafından dışarıya alınır, eş fazlı ışıınıma yani lazere dönüştürülür. Bu şekilde

elde edilen lazerin spektrum aralığı VUV 'dan sert X –ışını bölgesine kadar uzanır [7].

Compton ve Raman SEL olmak üzere iki çeşit SEL bulunmaktadır. Raman SEL’de düşük demet enerjilerinde elektronlar arasındaki etkileşmeler baskındır. Rölativistik parçacıklarda bu etkileşme ihmal edilebilir ve bu durumda Compton SEL ile karşılaşılır. Hızlandırıcılarda genellikle yüksek enerjili parçacıklar kullanıldığından, Compton SEL olayı gerçekleşmektedir [6].

SEL üç şekilde üretilmektedir ve elektron demetlerinin salındırıcı içinden geçiş sayısına göre sınıflandırılır. Bunlar Yükselteç (Amplifier) Modu, Osilatör Modu, Kendiliğinden Genlik Artımlı Yayınım (SASE) Modudur. Yükselteç Modu, ışınının dışarıdan verilen başka bir ışınım ile güçlendirilme prensibine dayanır. Osilatör modunda salındırıcı ışınımının, salındırıcının iki yanına konulmuş aynalarla bir optik kavite içerisinde güçlendirilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Burada salındırıcı magnet ışınması optik rezonatörde tuzaklandığında, her gidiş dönüşte meydana gelen koherent elektron yapılanması büyüyerek optik gücü artıracaktır. Bu olay SEL’de “Osilator Mod” olarak adlandırılır. Burada bütün elektronların aynı ışınım atmasına katkı sağlaması için elektron atmaları arasındaki zamanın kavite gidiş dönüş zamanına eşit olması gerekmektedir. Kendiliğinden genlik artımlı yayınım modu ise, rölativistik elektron demetinin kutupları arasında sinüsel bir magnetik alan uygulanan salındırıcı magnetten geçerken kinetik enerjisinin bir kısmını ışıma yoluyla kaybetmesi sonucu elde edilen serbest elektron lazeridir [6].

2.2.1. SEL fiziği

Dördüncü nesil ışınım kaynağı olarak da adlandırılan serbest elektron lazeri kısaca yüksek enerjili elektron demetinin, dalgalı bir magnetik alan içerisindeki hareketi sonucu yayınladığı radyasyonun optik bir kavite içerisinde güçlendirilmesi temeline dayanır. Bu şekilde bir lineer hızlandırıcıdan elde edilen elektron demetinin salındırıcıdan geçirilmesi sonucu oluşan serbest elektron lazerinin dalga boyu; salındırıcının ardışık iki aynı kutup arasındaki uzaklık λ_u , salındırıcının kuvvet

parametresi K , elektronun geliş doğrultusu ile gözlem doğrultusu arasındaki açı θ ve elektron demetinin Lorentz faktörü γ olmak üzere şu şekilde ifade edilir:

$$\lambda_{SEL} = \frac{\lambda_u}{2\gamma_e^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right) + \gamma^2 \theta^2 \quad (2.1)$$

Aynı zamanda bu ifade salındırıcının dalga boyunu değiştirerek Serbest Elektron Lazerinin istenilen dalga boyunda ayarlanabileceğinin göstergesidir. Salındırıcı kuvvet parametresi K ise,

$$K = eB_u \lambda_u / 2\pi m_e c = 0,9337 B_u [T] \lambda_u [cm] \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada m_e elektronun durgun kütlesi, c ışık hızı ve $e = \sqrt{4\pi\alpha}$, $\alpha = 1/137$ ince yapı sabitidir.

Osilator modda SEL düşük kazanç bölgesinde ele alınmaktadır. Kazanç mekanizması bir lazer sisteminde sistemin verimini, özellikle doyum mekanizmasını belirleyen parametrelerden biridir. Ciocci ve Dattoli düşük ideal kazanç parametresini,

$$g_0 = \frac{16\pi}{\gamma} \frac{\lambda_R [m] L_u [m]}{\Sigma_e} \frac{I}{I_\alpha} N^2 \xi F^2(\xi) \quad (2.3)$$

olarak tanımlamıştır [9]. Burada γ lorentz faktörü, λ_R radyasyon dalga boyu, I elektron demetinin tepe akımı, N kutup sayısı, L_U undulator uzunluğu, $I=17000$ A Arfen akımı, $F(\xi)$ Bessel düzeltmesi olmak üzere,

$$F(\xi) = [J_0(\xi) - J_1(\xi)]^2, \quad \xi = \frac{1}{4} \frac{K^2}{(1 + K^2/2)} \quad (2.4)$$

ile verilir. Burada $J_i(\xi)$ i. dereceden Bessel fonksiyonu ve $K = K_U / \sqrt{2}$ ile verilen RMS salındırııcı şiddet parametresidir ve son olarak Σ_e optik tesir kesiti olarak adlandırılır ve

$$\Sigma_e = 2\pi \left(\frac{\omega^2}{4} + \sigma_x^2 \right)^{1/2} \left(\frac{\omega^2}{4} + \sigma_y^2 \right)^{1/2} \quad (2.5)$$

ile verilir. σ_x, σ_y elektron demetinin enine kesitleri, ω SEL demetinin bel ölçüsü olarak adlandırılır ve

$$\omega = \frac{1}{L_c} \int_{-L_c/2}^{L_c/2} \omega(y) dy = \frac{2\omega_0}{L_c} \int_0^{L_c/2} \left[1 + \left(\frac{\lambda y_r}{\pi \omega_0^2} \right)^2 \right]^{1/2} dy \quad (2.6)$$

ile verilir. Tek geçişte düşük kazanç bağıntısında düzeltme ihtiyacı duyulmuştur. Bu düzeltmeler; enerji yayılımı, emitans, slippage düzeltilmesi olarak sıralanır. Enerji yayılımı düzeltmesi

$$C_e = (1 + 1,7\mu_\gamma^2)^{-1}, \quad \mu_\gamma = 4N \left(\frac{\sigma_y}{\gamma} \right) \quad (2.7)$$

olarak verilir. Buarada $\frac{\sigma}{\gamma}$ enerji yayılımıdır. ε demet emitansı ve tamamen eşleşmiş

silindirik demetler $\varepsilon = \varepsilon_x = \varepsilon_y$ için geçerli olmak üzere emitans düzeltmesi

$$C_{x,y} = \frac{1}{(1 + \mu_{x,y}^2)}, \quad \mu_x = \pi N \frac{\gamma \varepsilon}{\lambda_u} \frac{K}{(1 + K^2/2)}, \quad \mu_\gamma = \sqrt{2} \pi N \frac{\gamma \varepsilon}{\lambda_u} \frac{K}{(14K^2/2)} \quad (2.8)$$

olarak verilir.

Elektronlar undulatorü geçerken, geçtikleri undulator periyodu başına bir ışına dalga boyu oluştururlar. Bu şekilde oluşan toplam slippage $N\lambda$ 'dır. Elektron paketinin

uzunluğu slippage uzunluğuna yakın büyüklükteyse bu durumda optik atma daha kısa olan elektron paketçiğinden daha baskın gelir ve etkileşme süresi azalır. İlgili kazanç azaltma faktörü; σ_z elektron paketçik uzunluğu olmak üzere slippage düzeltmesi

$$C_c = \left(1 + \frac{\mu_c}{3}\right)^{-1}, \quad \mu_c = \frac{N\lambda_R}{\sigma_z} \quad (2.9)$$

olarak verilir. Böylece gerçek kazanç düzeltme faktörleri ile birlikte

$$\hat{g}_0 = g_0 C_e C_x C_y C_c \quad (2.10)$$

ile verilir. Gerçekte, sonlu enerji yayılımı ve sonlu elektron demeti kesit ölçüsü elde edilebilir kazancın azalmasına neden olur. Bükümlü elektron paketçiği ve optik tesir kesitini de hesaba katarak tek geçiş kazancı

$$G^* = 0,85 \hat{g}_0 + 0,19 \hat{g}_0^2 + 4,12 \times 10^{-3} \hat{g}_0^3 \quad (2.11)$$

olarak verilir. Aynalar arası gidip gelen lazer ile elektron demetinin etkileşmesi sonucu lazer doyuma ulaşır ve doyuma ulaşan lazer bir delikten dışarı alınır. Aynalar arasında etkileşim ve değişik etkilerden dolayı x in fonksiyonuna bağlı olarak kazanç

$$G(X_n) = G^* \frac{1 - e^{-\beta x}}{\beta x_n}, \quad \beta = a \frac{\pi}{2}, \quad 0,9 < a < 1,045 \quad (2.12)$$

ile verilir. Burada birimsiz x değişkeni

$$X_n = \frac{I_n}{I_s} \quad (2.13)$$

n . geçişte kavite içi güç yoğunluğu olarak adlandırılır. n kavite içi vargel sayısı, I optik alan gücü, I_s ise

$$I_s \left[\frac{MW}{cm^2} \right] = 6,9 \cdot 10^2 \left(\frac{\gamma}{N} \right)^4 \frac{1}{(\lambda_u K_u F(\xi))^2} \quad (2.14)$$

ile verilen ve doyum gücü olarak adlandırılır. Kavite içi güç yoğunluğunun kavite içi gelgit ile değişimi

$$X_{n+1} = X_n + [(1-\eta)G(X_n) - \eta]X_n \quad (2.15)$$

ile verilir. Burada η kavite kayıpları ve dışarı alınan foton miktarıdır. Buradan görüldüğü gibi optik gücü bulmak için simülasyon gerekmektedir.

Özel bir çalışma olan başka bir yöntemle maksimum denge kavite içi güç yoğunluğu hesaplanabilir. Bunun için ilk olarak slippage aralığı $\Delta = N_u \lambda_R$ ve çiftlenim parametresi $\mu_c = \Delta / \sigma_z$ tanımlarını yaparsak σ_z elektron paketçik uzunluğu ile kazanç,

$$G^*(g_0, \mu_c) = \frac{0,85 g_0}{1 + \frac{\mu_c}{3}} \quad (2.16)$$

olarak yazılabilir. Maksimum denge kavite içi güç yoğunluğu buradan,

$$X_{equilibrium}^*(g_0, \mu_c, \eta) = \frac{2}{\pi} G^*(g_0, \mu_c) (1 - e^{h(g_0, \mu_c)}) \quad (2.17)$$

bağıntısından hesaplanır. Buna beklenen denge kavite içi güç yoğunluğu da denir. Burada;

$$h(g_0, \mu_c) = \frac{1,8}{1 + G^*(g_0, \mu_c)} \frac{(1-\eta)G^*(g_0, \mu_c)\eta}{\eta} \quad (2.18)$$

olarak verilir. $X_{equilibrium}^*(g_0, \mu_c, \eta)$ bulunduktan sonra doyum gücü ile çarpılır optik güç bulunur.

Çalışmalarda doyumda kazanç, optik güç ve optik gücün aynalar arasındaki geçişlerde değişimi için FELO programı kullanılmıştır. FELO universal SEL denklemlerini Runge-Kutte metodu ile çözen FORTRAN 90 kodunda yazılmış bir programdır. Program elektron ve radyasyon arasında slippage etkisini de içermektedir. Program temelde SEL (Pierce) parametresi olarak bilinen ve

$$\rho = \frac{(\pi g_0)^{1/3}}{4\pi N} \quad (2.19)$$

ile verilen denklemi kullanır. Enerji yayılımı, demet emitansı ve enine doldurma etkilerini de hesaba katarak efektif Pierce parametresi,

$$\rho_{eff} = (F_{ins} F_f)^{1/3} \rho \quad (2.20)$$

halini alır. Burada F_{inh} demet enerji yayılımından kaynaklanan kazanç çarpanı olarak adlandırılır ve

$$F_{inh} = C_e C_x \quad (2.21)$$

ile verilir. F_f doldurma çarpanı da

$$F_f = \frac{1}{1 + \omega^2 / 4\sigma_b^2} \quad (2.22)$$

ile verilir. Burada ω yukarıda verilen demetin bel ölçüsü σ_b de elektron paketçığının boyudur.

Hesaplanması gereken bir başka değer de atma enerjisidir. Enerji optik gücün zaman ile çarpımından hesaplanabilir. Burada adı geçen zaman lazer atmasının sürüklenme süresidir. Osilatör modda bir lazer atmasının boyu

$$z = \frac{\lambda_R}{4\pi\rho_{eff}} \quad (2.23)$$

ile verilir.

Çıkış güç hesabı için aynadan çıkan foton miktarı optik güç ile çarpılarak bulunur. Ortamla çıkış gücü ise atmalar arası mesafeye bölünerek hesaplanır [9].

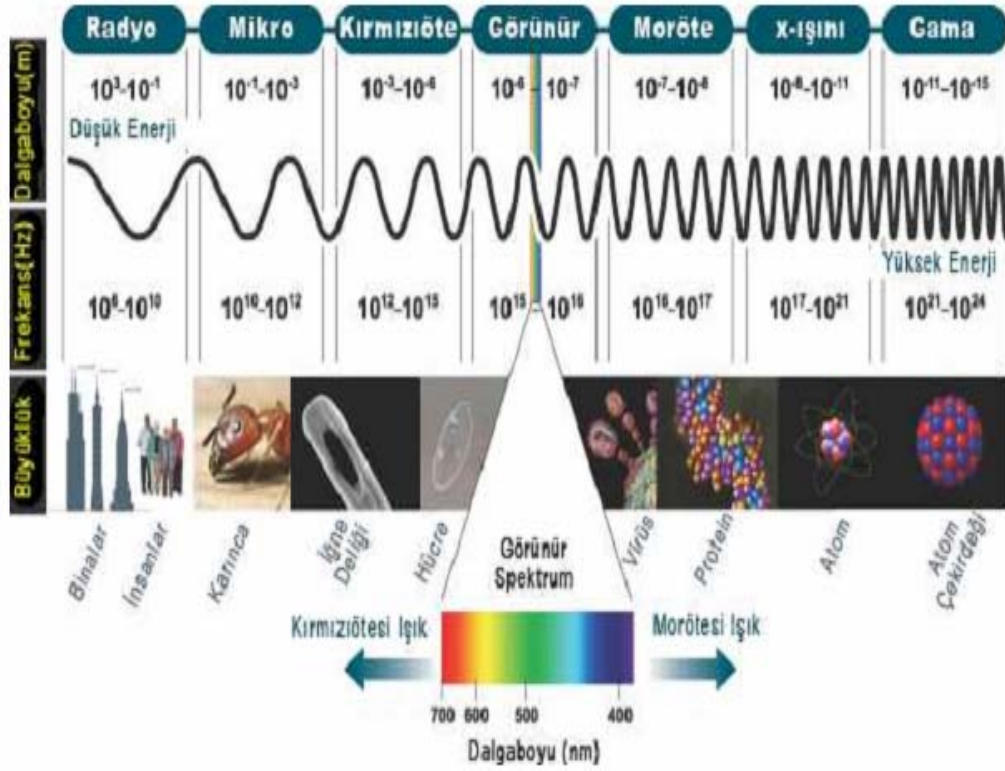
2.3. Elektromagnetik Spektrum

Dalga boylarına göre ışığın enerjisi çok küçük, çok büyük veya iki farklı dalga boyundaki ışıkların arasındadır. Bu elektromanyetik radyasyon enerjilerine göre sıralı dizini elektromanyetik spektrum olarak adlandırılır ve bu verilen enerji fotonları için belirli frekans ve dalga boyları vardır. Böylece tercihimize bağlı olarak elektromanyetik spektrumu bir enerji serisi, dalga boyu serisi veya frekans serisi olarak düşünebiliriz.

Spektrumdaki ışınlımların enerjilerini dalga boylarına bağlı olarak Planck incelemiş ve enerji düzeyinin frekansla doğru orantılı, dalga boyuyla ters orantılı olduğunu açıklamıştır. Dalga boyu ne kadar kısa olursa, ışıma o kadar büyük enerjiye sahiptir. Bu açıklamayı da Eş. 2.24 de verildiği gibi ifade edebiliriz:

$$E = \frac{hc}{\lambda} , \quad E = h.f \quad (2.24)$$

Burada; E: enerji, h: planck sabiti $h = 6,62618 \cdot 10^{-34}$ J.s, f: frekans, c: ışık hızı $c = 3 \cdot 10^8$ m/s ve λ ışığın dalga boyudur.



Şekil 2.4. Elektromanyetik spektrum

Elektromagnetik spektrumda yer alan ışınlarda dalga boylarına göre sıralanır ve Şekil 2.4’de gösterildiği gibi aşağıda verilen temel gruplar ile ifade edilir. Bunlar;

- 1- Gama Işınları
- 2- X- Işınları
- 3- Ultraviyole (Morötesi) Işık
- 4- Görünür (Visible) Işık
- 5- Kızılötesi (Infrared) Işık
- 6- Mikrodalga Işınları
- 7- Radyo Dalgaları’dır.

Bütün elektromanyetik dalgalar birbirlerine benzemekle birlikte, oluşma şekli ve maddelerle olan etkileşimleri bakımından farklı özellikler gösterirler. Gama ışınlarından radyo dalgalarına doğru enerji ve frekans azalırken, dalga boyu artmaktadır [10]. Elektromanyetik spektrumun seçilmiş bölgeleri için yaklaşık dalga

boyu, frekans ve enerji aralığı ile bu enerjiler kullanılarak gerçekleştirilebilen spektroskopi türleri Çizelge 2.1’ de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Elektromagnetik spektrumun dalga boyu, frekans ve enerji aralığı ile spektroskopi türü

Bölge	Dalga boyu (μm)	Frekans (Hz)	Enerji (eV)	Spektroskopi türü
Radyo	$> 10^6$	$< 3 \times 10^9$	$< 10^{-5}$	NMR ve NQR
Mikrodalga	10^3 - 10^6	3×10^9 - 3×10^{12}	10^{-5} -0,01	ESR ve moleküler dönme
Kırmızıaltı	1 - 10^3	3×10^{12} - $4,3 \times 10^{14}$	0,01-2	Moleküler dönme ve titreşim
Görünür	0,4-1	$4,3 \times 10^{14}$ - $7,5 \times 10^{14}$	2-3	Elektronik geçişler (dış e^-)
Morötesi	1 - 10^{-2}	$7,5 \times 10^{14}$ - 3×10^{17}	3 - 10^3	Elektronik geçişler (dış e^-)
X-ışınları	10^{-2} - 10^{-4}	3×10^{17} - 3×10^{19}	10^3 - 10^5	Elektronik geçişler (iç e^-)
Gama ışınları	$< 10^{-4}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 10^5$	Nükleer geçişler

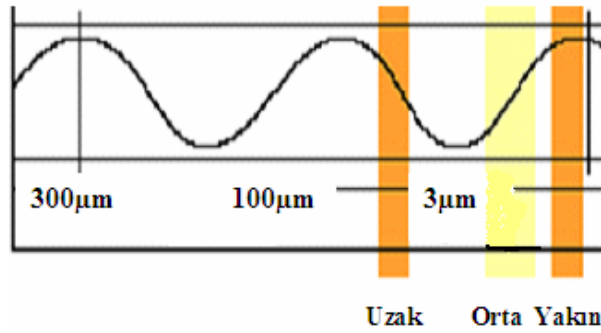
Elektromanyetik ışıma, uzayda yüksek hızla hareket eden bir enerji türüdür. Elektromanyetik ışımanın en çok karşılaşılan türleri, gözle algıladığımız görünür ışık ve ısı şeklinde algıladığımız ve aşağıda daha detaylı açıklayacağımız kırmızıaltı ışınlarıdır.

2.3.1. Kırmızıaltı bölge

Kırmızıaltı bölgeye karşılık gelen elektromanyetik dalga ışıınımı, elektromanyetik spektrumun mikrodalga spektrumu ile görünür bölge spektrumları arasında kalan bölgedir. Spektrumun bu bölgesi infrared ya da kızılötesi ışıınımları olarak da

isimlendirilmektedir. Kızılötesi ışıma $0,75 - 1000 \mu\text{m}$ arası uzunluktaki elektromanyetik dalgalardan oluşmaktadır.

Kırmızıaltı aralığını Şekil 2.5’de gösterildiği gibi üç bölgede ele alabiliriz. Bu bölgeler yakın kırmızıaltı bölgesi, orta kırmızıaltı bölgesi ve uzak kırmızıaltı bölgesidir.



Şekil 2.5. Kırmızıaltı bölgenin sınıflandırılması

Yakın kırmızıaltı bölge $1 - 2,5 \mu\text{m}$ arasındaki bölgedir. Yakın kırmızıaltı ışıınımı, görünür bölge ışıınının dalga boyuna çok yakındır. Bu bölgede kimyasal bağ boyunca atomların titreşim hareketleri incelenebilir. Molekül titreşimlerinin üstton ve harmonikleri gözlenir. Reaksiyon izlemede kullanılabilir.

Orta kırmızıaltı bölge $2,5 - 50 \mu\text{m}$ arasındaki bölgedir. Kırmızıaltı spektroskopisi denilince bu bölge akla gelir. Çoğu moleküllerin titreşimleri bu bölgeye düştüğü için titreşim spektroskopisinde en çok kullanılan bölgedir. Parmak izi bölgesi olarak isimlendirilir ve çok geniş bir kullanım alanı vardır.

Uzak kırmızıaltı bölge ise ışıınım enerjisinin en düşük olduğu bölgedir. $50 - 1000 \mu\text{m}$ arasında dalga boyuna sahiptir. Uzak kırmızıaltı dalgalar, ısısal özelliğe sahiptir. Ağır atomların titreşimleri ile örgü titreşimlerinin incelendiği bölgedir. Metal-ametal bağlarını içerdiği için özellikle anorganik bileşiklerin yapılarının aydınlatılması açısından önemlidir. Mikro dalga bölgesine yakın olduğu için moleküllerin dönü hareketleri de incelenebilir.

Kırmızıaltı ışınların enerjileri, atomlardaki elektronların enerjilerini değiştirmek için çok küçüktür. Bunun yerine, kırmızıaltı radyasyon; moleküllerin titreşim durumlarını değiştirme eğilimindedir ki bu, bir moleküldeki atomların çok hızlı ileri ve geri salınması anlamına gelir. Moleküller kızılötesi ışınları emdiklerinde atomları daha hızlı hareket eder ve böylece moleküllerin sıcaklıkları artar. Kızılötesi ışınlar, bir yüzeyle temas ettiği zaman, enerji ısı biçiminde açığa çıkar. Mutlak sıcaklığın (0 Kelvin) üzerindeki bütün maddeler kırmızıaltı ışınım salar [11,12].

Kırmızıaltı bölgede geçiş kuralları

m ve n indisleri iki titreşim enerji seviyesini temsil etmek üzere bu iki titreşim enerji seviyesi arasındaki geçiş dipol momentini,

$$\vec{\mu}_{nm} = \int \psi_n^* \vec{\mu} \psi_m d\tau \quad (2.25)$$

ifadesi ile verilir. Burada ψ_m taban durumuna ait titreşim dalga fonksiyonunu, ψ_n uyarılmış duruma ait titreşim dalga fonksiyonunu, $\vec{\mu}$ ise elektriksel dipol momentini gösterir. Titreşim hareketinde dipol moment $\vec{\mu}$ 'nün bağ uzunluğuna göre değişimi beklenir. İki atomlu bir molekülün denge konumu civarında dipol momentinin ($\vec{\mu}$) Taylor serisine açılımı,

$$\vec{\mu} = \vec{\mu}_0 + \left(\frac{\partial \vec{\mu}}{\partial \tau} \right)_0 q + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 \vec{\mu}}{\partial \tau^2} \right)_0 q^2 + \dots \quad (2.26)$$

şeklindedir.

μ_0 : Daimi elektriksel dipol moment

$q = r - r_i$: Titreşim koordinatı

r : Herhangi bir anda iki atomlu bir molekülün atomları arasındaki uzunluk

r_i : Denge bağ uzunluğu

Küçük genlikli salınımlar için Eş.2.26 ifadesindeki ilk iki terim alınıp daha yüksek mertebeden terimler ihmal edilirse,

$$\bar{\mu} = \bar{\mu}_0 + \left(\frac{\partial \bar{\mu}}{\partial \tau} \right)_0 q \quad (2.27)$$

yazılabilir. Eş.2.27, Eş.2.25 de yazılacak olursa,

$$\bar{\mu}_{nm} = \bar{\mu}_0 \int \psi_n^* \psi_m d\tau + \int \psi_n^* \left(\frac{\partial \bar{\mu}}{\partial \tau} \right) q \psi_m d\tau \quad (2.28)$$

elde edilir. Dalga fonksiyonları birbirine dik olduklarından $n \neq m$ için Eş.2.28'in ilk terimi sıfır olur ve sonuç olarak

$$\bar{\mu}_{nm} = \int \psi_n^* \left(\frac{\partial \bar{\mu}}{\partial \tau} \right) q \psi_m d\tau \quad (2.29)$$

bulunur. m düzeyinden n düzeyine geçiş olasılığı, $[\mu_{nm}]^2$ ile orantılıdır. Bu nedenle kırmızıaltı bölgede bir titreşimin gözlenebilmesi için, molekülün titreşimi sırasında, elektriksel dipol momentindeki değişimin sıfırdan farklı olması gerekir [12].

2.4. Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Avantajları

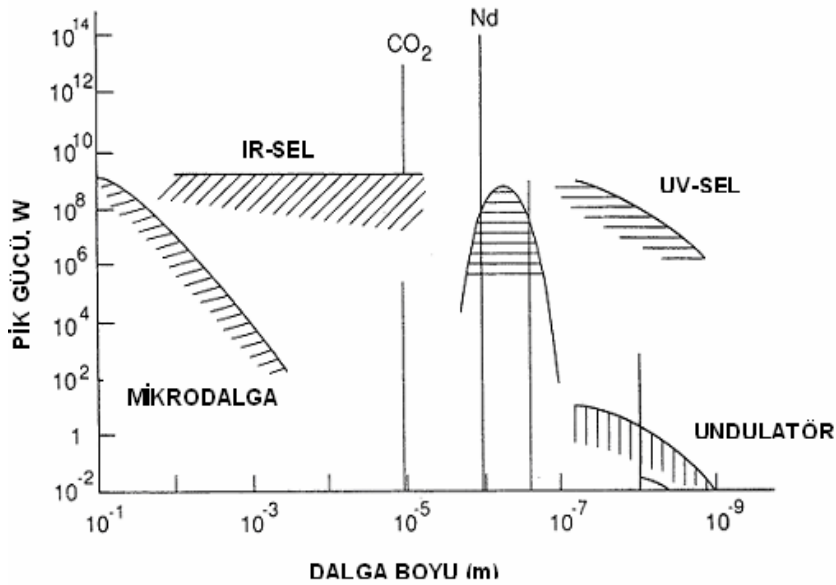
Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerleri, klasik lazerlerle karşılaştırıldığında pek çok noktada üstünlükleri ortaya çıkmaktadır. Örneğin; SEL'lerin, zaman yapısı birkaç ps uzunluğundaki bir mikroatma serisinden oluşmaktadır. Atma uzunluğu ve band genişliği, basitçe optik kavite uzunluğunun büyüklüğü değiştirilerek ayarlanabilmektedir. Geniş bir ayar oranı ile büyük optik kazançla sahiptir. Ayrıca elde edilen ışınım demeti lineer polarizedir. Bütün bu özellikler klasik lazerler ve sinkrotron tabanlı ışınım kaynakları ile karşılaştırıldığında SEL'lerin avantajlarını

açıkça göstermektedir. Çizelge 2.2’ de klasik lazerler ile SEL’in dalga boyu, atma yapısı, atma süresi, pik gücü gibi özellikleri karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 2.2. Geleneksel lazerlerle SEL’in karşılaştırılması [11]

	Nd-YAG	CO ₂	Ti-Saphire	SEL
Dalga boyu	1,064 μ m	10,6 μ m	nm mertebesinde	mm’ den nm’ye kadar ayarlanabilir
Atma yapısı	Atmalı	Sürekli	Atmalı	Atmalı, sürekli
Atma süresi	ms	-	fs	ps’ den fs’ye kadar
Pik gücü	kW	kW	kW	MW

Şekil 2.6’ da KA-SEL’in pik gücü ve dalga boyu değerlerinin diğer lazerler ile karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 2.6. KA-SEL’in pik gücü ve dalga boyu grafiğinin diğer lazerlerle karşılaştırılması [12]

Kırmızıaltı bölgede kullanılmakta olan pek çok klasik lazer olmasına rağmen KA-SEL Çizelge 2.3’de gösterildiği gibi sahip olduğu özellikler nedeni ile gerek bilimsel çalışmalarda gerekse sanayi çevrelerinde tercih edilen lazerlerdir.

Çizelge 2.3. Klasik KA lazerler ile KA SEL’in karşılaştırılması

Özellik	Klasik KA Lazer	KA SEL
Dalga boyu	Tek dalga boyludur. Belli dalga boyunda çıkış verir. (1-10 μm)	Tek dalga boyludur, geniş bir aralıkta dalga boyu değiştirilebilir (1-150 μm)
Faz	Işınım aynı fazdadır	Işınım aynı fazdadır
Güç	Güçlü ve yoğun	Çok güçlü pik ve ortalama güç çok yoğun (10 katdan fazla)
Puls	Sürekli veya ns mertebesinde atmalı	ps-ns mertebesinde atmalı, sürekli
Oluşumda ve aktarmada ısı enerjisi	Akustik hızda ($\sim 10^3$ m/s)	Işık hızında ($\sim 10^8$ m/s)

2.4.1. Ayarlanabilir dalga boyu

Elektronlar vakum boyunca serbest hareket ettikleri için, radyasyon dalga boyu, klasik lazerlerde olduğu gibi, iki farklı enerji seviyesi arasındaki belirli geçişler ile sınırlı olmayıp ayarlanabilir. Lazer dalga boyunun ayarlanması, K parametresinin değerini değiştiren salındırıcı magnetin kutupları arası uzaklığın değiştirilmesi, elektron enerjisinin değiştirilmesi ya da ikisinin kombinasyonu ile yapılır. SEL de elektron demetinin enerjisi veya manyetik alanın gücü değiştirilerek dalga boyu kolayca ayarlanabilir. Bu şekilde kızılötesi ve X-ışını arasında yer alan bölge kullanılabilir hale getirilir.

Kırmızıaltı SEL’ in ayarlanabilir dalga boyu, foto yayılım tekniğinin kullanıldığı yarıiletken arayüzeylerinde bant süreksizliklerinin çalışılması için kolaylık sağlar. Dünyada kırmızıaltı bölgeden morötesi bölgeye kadar geniş bir aralıkta ayarlanabilir

serbest elektron lazeri örnekleri vardır. Serbest elektron lazerleri ile tek bir hızlandırıcı ve çoklu salındırıcılar kullanarak ışınım geniş bir alanda ayarlanabilir [8,11].

2.4.2. Geniş dalga boyu aralığı

SEL'in dalga boyu, salındırıcının periyodikliği, magnetik alanı, demetin enerjisi gibi dış parametrelere bağlıdır. Dolayısıyla klasik lazer ışığı hemen hemen tek frekansta bulunurken, SEL VUV 'dan sert X –ışını bölgesine kadar uzanan geniş bir frekans aralığına sahiptir.

Demet enerjisinin değiştirilmesi ile istenilen dalga boyu aralığında çalışmaların gerçekleştirilmesini SEL'ler mümkün kılmaktadır. Çizelge 2.4'de hangi enerjilerde hangi dalga boyu aralıklarında çalışılabileceği gösterilmiştir [6,8].

Çizelge 2.4. Tipik elektron enerjileri ve kullanılan bölgeler;

Enerji	Kullanılan Bölge
5–10 MeV	Uzak infrared bölgede dalga boyu üretimi
10–50 MeV	Orta infrared bölgede dalga boyu üretimi
500–1000 MeV	UV-VUV bölgede dalga boyu üretimi
10–20 GeV	X Işınları bölgesinde dalga boyu üretimi

2.4.3. Tekrarlanabilir kısa atmalar

Klasik lazerlerde ve sinkrotron ışınımı ile her dalga boyunda kısa atmalar elde etmek mümkün değilken, SEL ile tüm dalga boylarında, elektron atmalarının radyasyon atmalarının yapısına benzerliğinden dolayı ultra kısa atmalar elde etmek mümkündür. ps hatta fs mertebelerinde çok kısa atmalar her dalga boyunda elde edilebilir. Bu durum SEL için Görünür ve KA bölgesindeki uygulamaları etkinleştirir.

Sürekli demet opsiyonu, normal iletken oyuklar sağlayamamaktadır. Ancak süper iletken bir sistemde, kayıp nerdeyse sıfır olduğundan sürekli yapıda yani sabit mikro atma frekanslı mikro paketçikler hızlandırılabilir. Bununla birlikte sürekli modda atmalar sağlayan hızlandırıcının özellikle büyük dalgaboylarında doyuma geç ulaşması engelini aşması büyük bir avantajdır. Normal iletken hızlandırıcılarda bu engel yüksek tepe akımı ile aşılmaktadır ancak yüksek tepe akımı da emitans değerinin yüksek olması ile ön plana çıkar. Bu nedenle süper iletken kullanımı ile süreklilik sağlamak daha avantajlıdır.

SEL’lerdeki radyasyonun kısa atma yapısı, yarı iletken örneklerinde elektron durulma zamanı ve bant içi transfer dinamiğinin çalışmasında kullanılır. Dalga boyunun küçük olması dağılmayı da büyük ölçüde azaltır. SEL’ in atmalı yapıya sahip olması nedeni ile güç kontrolü, sürekli atmaya sahip olan lazerlere göre daha kolaydır ve kesi çevresi daha az hasar görür. Böyle kısa atmalar elde etmek SEL’ ler için önemli bir avantajdır [2,8].

2.4.4. Ortalama parlaklık

Demet kalitesi brightness (parlaklık) ve brilliance (aydınlık) terimleri ile açıklanır. Parlaklık, demetin açısal sapmasını açıklarken aydınlık, enine demet yönü ile ilgilidir. Aydınlık ifadesi parlaklık açıklamasına dayanmaktadır. Bu açıklamalar Gaussyen biçimli elektron demetini ifade etmektedir.

Aydınlık ve parlaklık, demet yayını ve dolayısıyla elde edilen ışınım demetinin kalitesini ifade eden ve deneysel açıdan en önemli parametrelerdir. Kırmızıaltı bölgede diğer lazerlere kıyasla 3- 4 katı kadar daha fazla parlaklık elde edilmektedir. Buda SEL ‘in klasik lazerlerden 3–4 kat daha kaliteli ışınımına sahip olması anlamına gelmektedir. Elde edilen bu yüksek parlaklık modern teknolojiye sahip fotokatot tabancaların kullanıldığı lineer hızlandırıcılarda yaratılmaktadır [6].

2.4.5. Kullanım süresi

SEL ile uzun ve sürekli olarak çalışmalar yapılabilir. Ancak klasik lazerler ile bu mümkün değildir. Klasik lazerlerin çalıştırılmasında belirli bir güç sınırı bulunmakta ve bu sınır aşıldığı zaman lazer bozulmaktadır. SEL de ise herhangi bir sınır bulunmamaktadır. SEL'ler yılda ortalama 2000- 3000 saat arasında çalışabilme kapasitesine sahiptirler [8].

2.4.6. Kazanç

Kazanç mekanizması bir lazer sistemde sistemin verimini belirleyen, özellikle doyum mekanizmasını belirleyen parametrelerden biridir. SEL de kazanç; ortamdaki elektromagnetik alanın ve elektronun yönüne bağlıdır. Bu durumda SEL ile negatif ve pozitif yüksek kazanç değerleri elde edilebilir. SEL'in temel kazanç mekanizması elektron demeti ile ışıyım alanı arasındaki enerji alışverişidir. Bu enerji alışverişi ışıyım alanının yükseltgenmesine ve elektron demetinin yavaşlamasına (pozitif kazanç) ya da tam tersi bir sürecin oluşumuna neden olabilir. Pozitif ya da negatif kazanç mekanizmasını elektron demeti ile ışıma alanı arasındaki faz belirler.

Kazanç, faz hacmi içerisindeki elektronların sayısı başka bir deyişle paketçikteki parçacık yoğunluğu ile artar. Bunun anlamı çok düşük demet yayını ve çok kısa paketçiklere gerek duyulması demektir. Serbest elektron lazerleri ile de bu gereksinimler kolaylıkla sağlanabilmektedir [6,8].

2.4.7. Yüksek pik gücü ve ortalama güç

Geleneksel lazerler kW mertebesinde pik gücüne sahip iken SEL'ler ortalama MW mertebesinde pik gücüne sahiptir. SEL'in sahip olduğu yüksek pik gücü, klasik lazer kullanımının çok kolay olmadığı lineer olmayan spektroskopi çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmalar malzemenin yapısını anlamaya, durulma dinamiğinin zaman-çözünürlük çalışmalarına ve farklı özelliklerin tahmininde kullanılan yeni modellere yarar sağlamaktadır [11].

Lazerlerin şiddeti sahip oldukları güç ile orantılıdır. SEL’lerde ortalama güç W mertebesinde dir Klasik lazerlerin yüksek güç işle mi, ısınma ve lazerin bozulması gibi negatif etkilere yol açarken SEL’lerde güç için temel bir sınırlama yoktur. Çünkü elektron demeti ışık hızına yaklaştığında yığın etkileşimi ortadan kalkar, böylece elektronlar bozulmadan kalabilmektedir [8].

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

3.1.Giriş

Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerleri için kullanım alanları temel olarak; malzeme, fotokimya, biyomedikal ve biyofizik alanlarında gerçekleştirilmektedir. Söz konusu uygulama alanları en yaygın 2–120 μm dalga boyu aralığına düşmektedir. Lazerin biyomedikal alandaki kullanımı genellikle 6,45 μm , fotokimya alanındaki kullanımı 3–90 μm , yüzey çalışmalarında 2,5–10 μm ve malzeme alanında 9–55 μm dalga boyu aralığındadır [14].

Bu tez çalışmasında kırmızıaltı bölge göz önünde bulundurularak, KA-SEL'in fizik ve kimya uygulamaları araştırılmış ve bu uygulamaların gerçekleştirilmesinde kullanılan bazı yöntemler aşağıda açıklanmıştır. Sırası ile Lazer Depolama İşlemi (PLD), Kırmızıaltı Matris Yardımlı Lazer Desorpsiyon/İyonlaşmalı Kütle Spektroskopisi (IR MALDI MS), Kırmızıaltı Matris Yardımlı Atmalı Lazer ile Buharlaştırma (IR MAPLE), Kırmızıaltı Rezonans Artırıcı Çoklu Foton İyonizasyonu (IR REMPI), Yüzey Etkisi Arttırılmış Lazer Desorpsiyon/İyonizasyon Kütle Spektrometresi (SELDI MS), Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazeri ile Fotoakustik Spektroskopi (SEL-PAS) gibi yöntemlerin uygulamalarda kullanıldığı tesbit edilmiştir.

3.2. Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Kullanım Alanları

Lineer hızlandırıcılara dayalı kısa dalga boylu SEL'ler; kısa atma süresi, parlaklık, koherentlik gibi özellikleriyle sıra dışıdır. Hızlandırıcı merkezlerinde artan bir güvenilirlikle linaka dayalı, kısa dalga boylu SEL tesisleri inşa edilmektedir.

SEL laboratuvarları özellikle; malzeme bilimi, nanoteknoloji, fotokimya, yarıiletken yapılar, lineer olmayan optik, atom ve molekül fiziği, yüzey ve arayüzey fiziği, lazer optiği, biyoteknoloji alanlarında çalışan araştırmacılar ve bu alanlarda ürün geliştiren

sanayi çevreleri için modern bir araştırma ortamı ve aracı olmaktadır. Birçok ülkede de bu amaçla bu uygulamalar gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 3.1.'de, Dünya'da serbest elektron lazeri kullanan bazı merkezlerde gerçekleştirilen uygulama alanları ve çalışılan dalga boyu aralıkları gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Dünya'da serbest elektron lazerleri kullanan bazı merkezler ve gerçekleştirilen uygulamalar

Yer	Dalga boyu (μm)	Kullanım alanları
THM IR SEL ¹ (Türkiye)	2,5–250	Malzeme, yarıiletken, medikal ve fotokimyasal araştırmalar
CLIO Laboratuvarı (Fransa)	3–150	Yoğun madde fiziği, yüzey kimyası, eczacılık
Stanford Üniversitesi (Amerika)	3–10 15–65	Yoğun madde fiziği, biyoloji, tıp
Vanderbilt Üniversitesi(Amerika)	2,1–9,8	Tıp, biyoloji, yoğun madde fiziği
Jefferson Laboratuvarı (Amerika)	3,2–4,8	Biyoloji, tıp, kimya, nano- teknoloji, mikro teknoloji
FOM Plazma Fiziği Enstitüsü (Hollanda)	3,1–35 25–250	Nükleer/moleküler fizik, Biyoloji, tıp,
ELBE (Almanya)	3–280	Yoğun madde fiziği, yüzey kimyası, biyoteknoloji

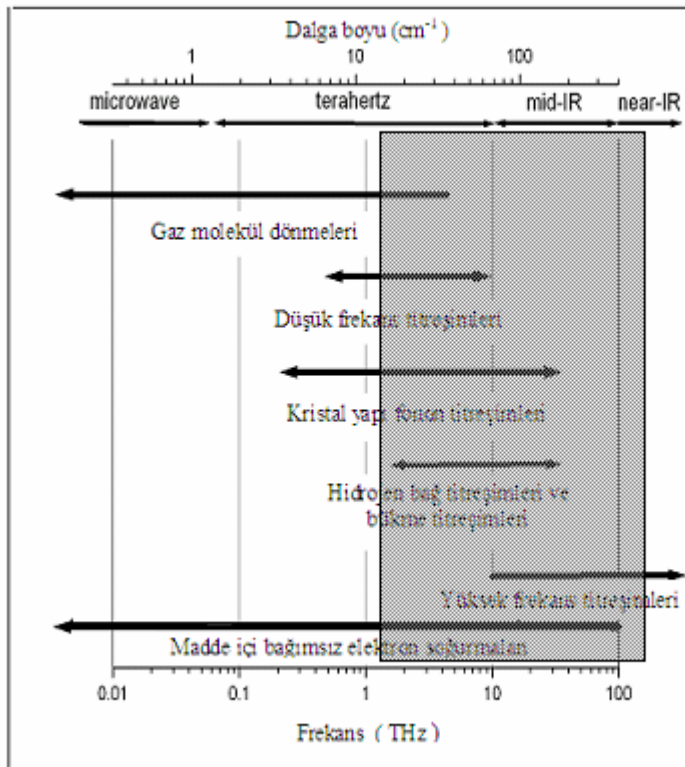
SEL'ler; karmaşık yarıiletkenlerin yapısının araştırılmasında, optik özelliklerin incelenmesinde, durulma dinamiğinde, kuantum kuyusunda emisyon çizgilerinin genişliği ile dağılımının tayininde, yüksek enerjili demetin yapısının incelenmesinde,

¹Türk Hızlandırıcı Merkezi IR SEL tesisi Gölbaşı Ankara' da kurulma aşamasındadır.

foton fiziğinde, pompa sonda deneylerinde, malzeme işleme ve mühendisliğinde, lazer ablasyonunda, malzeme yapısını değiştirmede, nano yapıların formasyonunda, yarıiletkenlerin camla kaplanmasında, korozyona dayanıklı tabaka oluşumunda, litografide, moleküllerin görüntülenmesi ve spektroskopisinde, lazer darbeleri kullanılarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını tayin etmede (LİDAR), kimyasal reaksiyonlarda zaman kararlı spektroskopi (TR) gözlemlerinde, fazla yüklü iyonların enerji seviyelerin tayininde, atom çekirdeğindeki derin coulomb alanlarının araştırılması gibi daha pek çok alanda çalışmalar gerçekleştirilmektedir [8,14,15].

SEL laboratuvarları, çalışmak istedikleri alanlar doğrultusunda lazerlerini geliştirmiş ve dalga boyu aralıklarını belirlemişlerdir. Çizelge 3.2’de dalga boyu aralıklarına göre gerçekleştirilebilecek moleküler etkileşimler gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Dalga boyu aralıklarına bağlı moleküler etkileşimler [17]

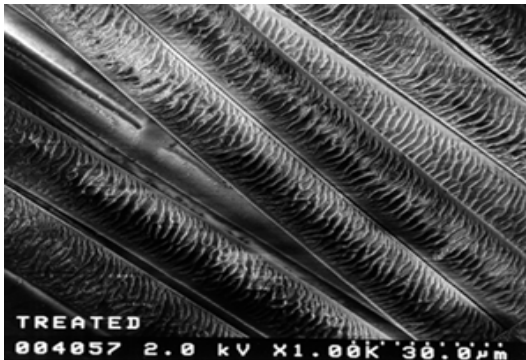


3.3. Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Fizik Uygulamaları

3.3.1. Yoğun madde fiziği uygulamaları

Yoğun madde fiziği, maddenin makroskopik fiziksel özellikleri ile ilgilenir. Özel olarak; bileşenlerin oldukça büyük ve aralarında ki etkileşimin güçlü olduğu yoğunlaşmış kısmını inceler. Bu alanda ki uygulamalar kırmızıaltı bölge spektrumunda ortaya çıkmaktadır. Kırmızıaltı SEL ile yoğun madde fiziğinde, malzemenin gövde kısmı için, homojen malzemelerin fonon enerjilerine ulaşabilmektedir. Ayrıca; fononlar, plazmonlar, magnonlar ve ara alt band geçişlerinde gerekli olan tüm temel uyarılmalar yapılabilmektedir. SEL'lerin geniş ayarlanabilir kullanımı ile çeşitli materyallerin, özellikle yarıiletkenler ve süper iletkenlerin spektroskopisi uzak kırmızıaltı ışınımı ile gerçekleştirilebilmektedir

SEL'lerin yüksek pik gücü sayesinde, lineer olmayan spektroskopi çalışmaları yapılabilirken, klasik lazerlerde kullanılan dalga boyları buna olanak vermez. Kısa atmalara sahip olması, yarı iletkenlerde elektron-elektron ve elektron-fonon çiftlerinin geçiş spektroskopisine izin verir. Örneğin, Duke Üniversitesinde SEL'lerin yüksek pik gücü ve geniş ayarlanabilir olmasından; yarıiletkenlerde, kuantum noktalarında ve polimerlerde lineer olmayan spektroskopik çalışmaları gerçekleştirmek için yararlanılmaktadır (Resim 3.1.). Bu çalışmalar, maddenin özelliklerini anlamada hem de geliştirmekte olan modellerin farklı özelliklerinin saptanmasında kullanışlıdır [8, 18].



Resim 3.1. SEL ile işlenmiş polimer yüzeyin mikroskobik resmi

Vanderbilt Üniversitesinde, KA SEL den gelen ayarlanabilir ışınım, iç fotoemiyon tekniği kullanılarak yarıiletken arayüzeylerdeki band süreksizliği çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu teknikte, SEL den gelen fotonlar, enerji bariyeri karşısındaki elektronları pompalamak için kullanılır. Enerji bariyeri, heterojen bir band süreksizliğine ve bariyer yüksekliğine neden olur. Vanderbilt’de, direk ve direk olmayan bant aralığına sahip yarıiletkenlerde iki foton spektroskopisinin foto iletkenlik, fotolüminesans ve emme ölçümleri yapılmaktadır [8].

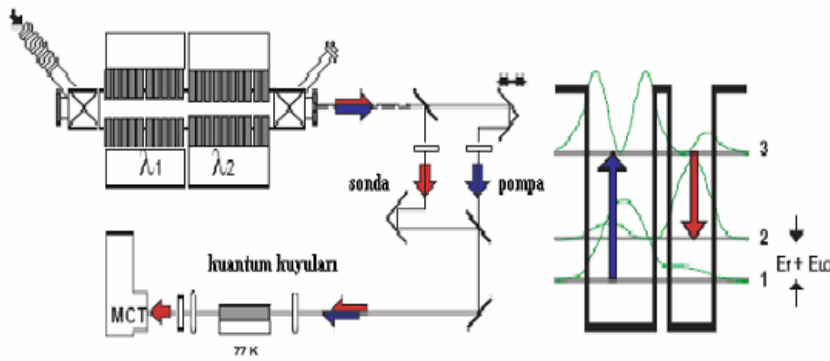
CLIO ve Stanford da, KA-SEL den elde edilen kısa atmlar, yarıiletken örneklerde elektron durulma zamanı ve bant içi transfer dinamiğinde kullanılmaktadır. SEL ışınım kaynağı, yüzeylerdeki titreşimlerin incelenmesinde sonda olarak kullanımı ile önemli ölçüde yarar sağlamaktadır. Bu çalışmalardan biri, yüzeydeki titreşimsel durulma süreçlerinin ölçülmesidir. Yüzeylerdeki titreşimsel enerji durulması, molekül yüzey işlemlerinde önemli rol oynamaktadır. Titreşimsel durulma, yüzey ve yüzeye tutunanlar arasındaki ilişkiyi yansıtır. Bu yüzden, yüzeylerdeki titreşimsel dinamiklerin ölçülmesi deneyleri, yüzey fiziği ve yüzey kimyasını anlamada kullanılan deneylerdir. Titreşimsel durulma hızları ise yüzeylerdeki reaksiyonların mekanizması ve kinematiği hakkında bilgi vermektedir. Titreşimsel uyarılmaların derecesi moleküllerin kimyasal reaktivliğini etkilemektedir. Titreşimsel durulma hızı, lazer ile uyarılmış yüzey olayları ile ilişkilidir. Yoğun madde ve gaz fazındaki titreşimsel enerji durulmasının ps zaman skalasında olduğu bilinmektedir. Bu nedenle SEL kullanımı ile yoğun madde fiziğinde bu çalışmalar başarı ile gerçekleştirilebilmektedir [18].

3.3.2. Katıhal fiziği uygulamaları

Katıhal fiziği; yoğun madde fiziğinin geniş bir dalı olup, şekil değiştirilemez maddelerle veya katılarla ilgilenir. Katıhal fiziği, yoğun haldeki maddelerin elektriksel, manyetik, optik ve esneklik gibi özelliklerini inceler. En önemli konuları kristallerdir. Çünkü bir kristalin atomları genellikle düzenli (periyodik) dizildiğinde matematiksel modeli daha kolay çıkartılabilir. Katıhal fiziğinde genellikle kristallerin

incelenmesinin diğ er bir nedeni de elektrik, magnetik, optik ve mekanik özelliklerinin çeşitli mühendislik alanları için önemli olmasıdır.

SEL, katıhal uygulamaları için ns ve ps aralığında çalışır. ps zaman ölçekli pompa sonda ölçümleri, dar aralıklı yarı iletkenlerin koherent geçiş etkilerinin artı ının gözlenmesine olanak sa lar. SEL kullanımı ile kuantum kuyularına optik pompalama çalışmaları yapılabilmektedir.



Şekil 3.1. İki renk SEL ile kuantum duvarlarında optik pompalama (λ_1 = mavi, λ_2 = kırmızı) [19]

Şekil 3.1’de iki renkli serbest elektron lazeri için, 9,2 μm ve 12,5 μm ’de pompa-sonda tekniği ile kuantum duvarlarına uygulanmış optik pompalama deney düzeneği gösterilmiştir. Burada iki salındırıcı, iki dalga boyu üretmesi için iki farklı magnetik aralıkt  kurulmuştur. İki kuantum duvarı ise, uyarılmış yayınıma müsaade eder. İlk renk, ilk duvarın uyarılmış seviyesini arttırır ve daha sonra ikinci duvar için beklemede kalır. Bu bekleme, ikinci renk ile uyarılır. 2 mm uzunluğundaki örnek 0,7 mm uzunluğundaki örneğe göre daha fazla geçiş (kazanç) sa lar ve pompalanmı  yayının sergiler [19].

Kırmızıaltı SEL, kusurlu modların ve arayüzeydeki ba ların araştırılmasına imkân sa lar. Bununla birlikte, zamandan bağımsız lineer spektroskopi için, SEL diğer spektroskopik yaklaşımlara göre daha avantajlıdır. Başka kaynak ile birlikte SEL lineer olmayan spektroskopi ile benzer sistemlerin zamandan bağımsız çalışmalarını, toplam frekans jenerasyonu (SFG) tekniği ile yerine getirebilir. Daha da önemlisi

SEL; mod-mod etkileşimler, uyarılmış durumların geçiş yollarındaki durulmalar, homojen olmayan malzemeler (kusurlar, gömülü ara yüzler, kuantum noktaları ve yapay olarak yapılanmış süper örgüler) gibi problemlerin çalışılmasına ve araştırılmasına imkân sağlar [20].

Katıhal fiziği uygulamalarında özellikle SEL'lerin kullanımıyla elde edilen avantaj, yüksek enerjileri ve yüksek frekans özellikleridir. Bu çalışmalar kapsamında, yüksek enerji ve yüksek frekansta, dengede olmayan durumlar içinde sistem değiştirilebilir. Bu durumlardaki enerji akışı ve durulma süreçleri böylece araştırılabilir. Bu yaklaşım özellikle yarıiletkenlerde önemlidir. Çünkü kuantum optiksel ve elektronik aygıtlar dengede olmayan durumlar altında çalışabilir. Bir SEL atmosferindeki alan genlikleri, SEL'lerin kendi yapılarından veya cihazlardan aldıkları alan genlikleriyle aynı ya da daha büyük olabilir. Dahası, SEL'ler herhangi bir zaman ölçeğinde yeniden yapılandırılabilir ve bu zaman ölçeği, tipik yapısal ve taşıyıcı durulma zamanları bakımından daha hızlı olmasına olanak sağlayabilir. Böylece SEL'ler, yarı iletkenlerdeki lineer olmayan ve koherent etkileri gözlemlemek için uygundur. Bu etkiler daha önce sadece mikrodalga frekanslarında, süperiletkenlerde görülebiliyorken şimdi KA SEL kullanılarak yapılabilmektedir [19].

3.3.3. Yüzey fiziği uygulamaları

Yüzeyler üzerine absorplanmış atomlar ve moleküller hakkında daha fazla bilgi, ayarlanabilir kızılötesi kaynaklar ile elde edilebilir. Ayarlanabilir kızılötesi kaynakları eş fazlı ve eş fazsız olabilir. Bu sayede moleküller arası titreşimler infrared bölgede 1 ve 10 μm arasında ölçülebilir. Fourier dönüşümlü KA Spektroskopi ve Raman tekniği moleküller arası titreşimlerin ölçüm değerini yaklaşık 400 cm^{-1} (25 μm) ye indirmiştir. Düşük frekans limiti sayesinde translasyonel ve rotasyonel modların çoğu engellenir. Bu modlar, yüzeye tutunan bağlarla ilişkilendirilir. Burada moleküllerin iç bükülme modları saptanılır ve bu modlar kimyasal tutunma sistemlerinde, katılar, sıvılar ve polimerik yüzeyler için çalışma olanağı sağlar. Bu durum, Van der Waals demet moleküler modların ölçümleri içinde aynıdır. Bu demetler, sistemin dinamiği ve yapısı hakkında bilgi

sağlar. Buna ek olarak, enerji dağılımlarını ve bu modların çizgi şekillerinin ölçümü bu modların nasıl eşleştirildiğini ve enerjilerinin alt maddedeki elektronlara ve fononlara nasıl dağıtıldığını anlamak için önemlidir. Bu tür deneyler; yansıma, absorplama modunda hem de rezonans ile lineer olmayan optik çalışmalarda örneğin; SFG ve ikinci harmonik jenerasyonda yapılabilir. Bu lineer olmayan tekniklerin kullanımındaki güçlü motivasyon, moleküler yapıları ve enerji eşleşmelerinin karakterize edilmesini sağlar. Ayrıca yüzey ve arayüzey elektronik özelliklerin bu bölgedeki ölçümleri de lineer olmayan optik metodlarla yapılır. SEL'ler kullanılarak yapılan bu tip deneylerin ilk sonuçları kısa dalga boylarında olsa da mevcuttur. Örneğin; Fransız grubu CLIO'yu kullanarak SFG yöntemi ile Pt-methanol arayüzeylerinde 5 μm ışınım kullanarak çalışmalar yapmaktadır [8,21].

Yüzey çalışmalarında SEL ışınımının bazı benzersiz özellikleri kullanılmaktadır. Bunlardan ilki sürekli olarak ayarlanabilen yüksek şiddetli ışınımdır. Bu ışınım, özel titreşim frekanslarının iyi sinyal-gürültü oranı ile incelenmesine olanak sağlar. Diğeri ise ps'lik atmalardır. Böylece pump-probe gibi tekniklerin yüzeyde, enerji transfer süreçlerini çalışmasına olanak sağlar.

3.3.4. Plazma fiziği uygulamaları

Maddenin dördüncü hali olan plazma iyonize olmuş gaz olarak ifade edilir. Bir akışkan olarak plazma, kütle yoğunluğu, ortalama hız, kinetik basınç ve sıcaklık gibi, büyük ölçekli değişkenler yardımıyla tanımlanabilir. Plazmanın temel özelliği, elektriksel nötrülüğünü koruma eğiliminde olmasıdır.

Plazma fiziğindeki SEL uygulamaları başlıca iki kategoriye ayrılır. Bunlar; plazma heating (ısıtma) ve plazma diagnostik (analiz) tir. Kontrollü füzyon plazmalarının ısıtılması, yüksek güçlü mikrodalga radyasyon kullanılarak elde edilebilir ve 10 Megawatt civarında güce ihtiyaç duyulur. Enerji Emilimi, elektron siklotron rezonans ile elde edilir ve bu rezonans 0,5 -2 μm aralığında dalga boyuna ihtiyaç duyar. Bazı güncel deneylerde, bu dalga boyu aralığı ile füzyon sıcaklığındaki plazmaları farklı manyetik alanlarda ısıtmak veya plazma içindeki emilimin bir yerden bir yere

taşınması için frekansın ayarlanabilir olması arzu edilir. Isıtmak için kullanılan kaynaklar, yeterince etkili olmalıdır ve uzun atmaları birkaç saniyede güçlendirebilmelidir.

Plazma kararsızlıklarını kontrol altına almak için, lokalize ısıtmanın kullanımı hakkında birçok yaklaşım yapılmıştır. Bu yaklaşımlar plazmanın kritik bölgelerini ısıtmak için frekansı hızlıca değiştirmeye ihtiyaç duymaktadır. Plazma kararsızlığının kontrol altında tutmak için ihtiyaç duyulan gereksinimler yüksek pik gücünü kısa sürede hızlıca dağıtma yeteneğini içerir. Yukarıdaki gereksinimleri karşılamak için birkaç potansiyel kaynaktan biri de SEL'dir [8].

Plazma fiziğindeki uzak kırmızıaltı radyasyonunun ikinci ana kullanımı Plazma diagnostiklerdir. Bu diagnostikler, plazma ile gönderilen dalgaların faz değişim ölçümünü ya da kritik yoğun bölgelerden gelen dalgaların yansımalarının ölçümünü içerir. Tipik füzyon plazmaları için faz değişim ölçümlerinde kullanılan dalga boyları milimetreye santimetre aralığındadır. Eğer plazmanın durumu iki veya daha fazla frekansta incelenirse, plazma hakkında daha fazla bilgi elde edilebilir. Plazma özelliklerinin yansıma ölçümleri için, dalga boyu kabaca geçiş diagnostikler için gereken dalga boyu aralığında olmalıdır. Bazı yansıma deneylerinde, çoklu frekanslar farklı yoğun bölgelerden elde edilen yansımaların kullanılmasıyla plazma yoğunluğunu tespit etmek için kullanılır. Bu uygulama için frekans aralığı ms'lik değişebilen uzak kırmızıaltı bölgede tek bir kaynak kullanmak önemlidir [8,22].

Düşük sıcaklıktaki plazma çalışmaları ile farklı moleküler türleri ve onların kökenlerini tespit etmek (plazma kimyası) KA SEL ile gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalar kimyasal türlerin kontrolü ve anlaşılmasında hayati önem taşır.

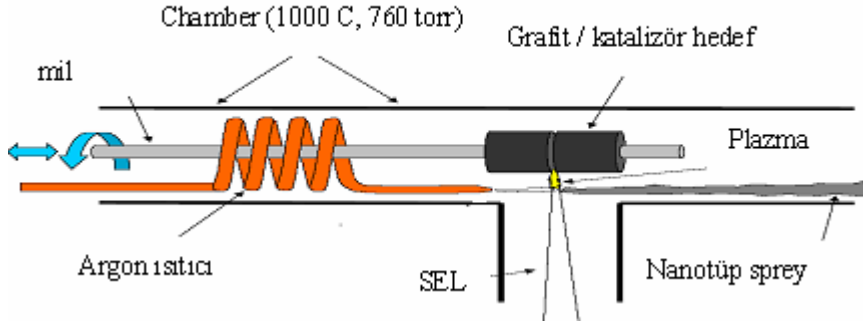
3.3.5. Nanoteknoloji uygulamaları

“Nano” sözcüğü, herhangi bir fiziksel büyüklüğün bir milyarda biri anlamına gelmektedir. Atom ve moleküllerin içindeki en küçük mesafeleri tanımlamak için kullanılır. Nanoteknoloji ise, aşırı küçük yapısal maddelerin üretilmesi, araştırılması

ve bunlardan yararlanmanın teknikleri üzerinde çalışır. Teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler, nano teknolojinin doğmasına yol açtı ve çağımızın en öncelikli konularından biri oldu. Nanoparçacıklar, ince filmler ve nanotüpler olarak elde edilen malzemeler, gösterdikleri çok ilginç fiziksel özellikler ve boyutların çok küçülmesi nedeniyle teknolojiye çok büyük bir kullanım alanı sunmaktadırlar. Yoğun madde fiziği, kimya, mühendislik bilimleri, moleküler biyoloji, genetik ve malzeme bilimi gibi pek çok alanda bu teknolojik gelişmeden faydalanılmaktadır.

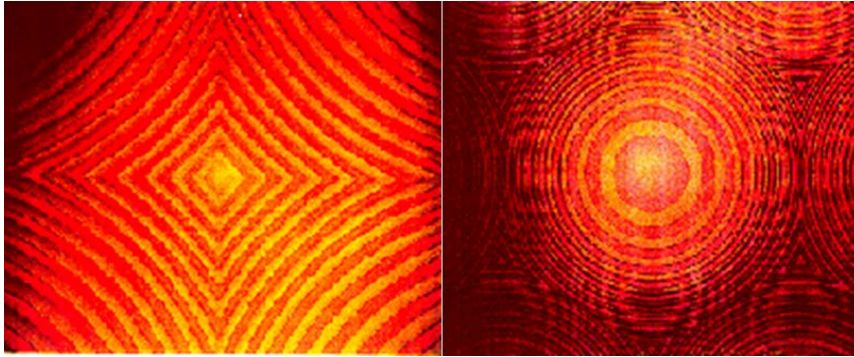
Nanoteknolojinin en önemli konularından biri karbon nanotüplerdir. Karbon nanotüpler, önemli elektronik ve mekanik özelliklere sahip nano yapılarıdır. Nanotüpler çelikten daha serttir ve plastik kadar esnektir. Enerjiyi şimdiye kadar keşfedilen tüm maddelere göre daha iyi iletirler. Karbon atomları birbirine sınıksız bağlıdır ve sabit altıgenler oluştururlar. Nanotüpler, ayrılan atomun yerine başka bir atom kaydırarak kendilerini onarırlar. Temel olarak, bir karbon nanotüpü tüpün içine girecek şekilde kıvrılmış karbon atomlarından oluşur ve iki değişik biçimde bulunur. Bunlardan ilki tek duvarlı nanotüplerdir ve tek bükümlü karbonlardan oluşurlar. Tek boyutlu nanotüplerde yükseklik ve en yoktur. Bunun sonucu, elektronlar bir yörüngede hareket ederler. Malzemedeki yarıklarda, bozuk alanlarda dağılmaz ve kaybolmazlar. Bu tek boyutluluk nanotüplerin, ısıyı şu ana kadar bilinen, elmas dâhil, tüm malzemelere göre daha iyi iletir. Fiber optiklerde de ışığı taşımakta benzersizdir. Tek duvarlı nanotüpler, fiziksel eğme ve bükmeye inanılmaz derecede dayanıklıdır. 120 derecelik açıyla eğilmekte sonra hasarsız olarak eski durumuna gelmektedirler. İkincisi ise çoklu duvarlardan oluşan nanotüplerdir ve bir tüpün başka bir tüpün içinde olduğu yapılarıdır [23].

Serbest Elektron Lazerleri ile pek çok alanda olduğu gibi nanoteknoloji alanında da uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Örneğin Jefferson SEL’de son yıllarda hızla gelişmekte olan karbon nanotüplerin üretim çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmayı Jefferson Laboratuvarı, NASA ile beraber hayata geçirmiştir. Yüksek kaliteli, tek duvarlı karbon nanotüpleri, hava boşluğu uygulamalarının testi için verimli bir şekilde üretilmektedir (Şekil 3.2)



Şekil 3.2. Jefferson laboratuvarında SEL ile karbon nanotüp üretimi

Jefferson SEL’deki ultra hızlı atmalar, klasik lazerlerden farklı olarak nanotüpleri oluşturmak için direkt olarak reaktansı uyarır. Burada nanotüplerin üretiminin gerçekleşmesi materyal ısıtılarak gerçekleştirilir. Bununla birlikte nanotüplerin çapları SEL parametreleri tarafından değiştirilebilmektedir [24].



Resim 3.2. Mikro optik Fresnel mercekleri kullanılarak 12 mikron dalga boyunda yapılan “laser micromachining” yöntemi. Mikrometre skalasında nanometre boyutlu yapılar incelenebilmektedir.

Ayrıca SEL kullanımı ile nano alanda kuantum yapılar üzerine geleneksel yöntemlerle zor olan, temel fotonik araştırmaları yürütmek ve değişik metal yüzeyler üzerinde multifoton indüklü elektron yayını gibi araştırmalar gerçekleştirilmektedir. Bunun bir örneğini; spektrum ölçümü ve kütle spektroskopisi için yoğun ve ayarlanabilir radyasyon kaynağı olarak uzak kızılötesi bölgesindeki FELIX emisyonu, altın demet yapısını tanımlamak için kullanmıştır ve nötr Au_7 , piramit yapıları nötr Au_{20} ve piramit yapıları Au_{20} belirlenmiştir [24].

IR bölgesindeki dalga boyu ayarlanabilir, atma uzunluğu ps ve yüksek tekrarlama frekansına sahip SEL kullanılarak, son zamanlarda üzerinde yoğun olarak çalışılan, özellikle biyoteknoloji ve nanoteknoloji uygulama alanlarında kullanılan ince filmlerin oluşturulması (PLD), elde edilen filmlerden hassas yapıların üretilmesi amacıyla delme, yüzey işleme çalışmalarının yapılması da planlanmaktadır.

3.4. Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Kimya Uygulamaları

SEL, kimya alanında endüstriyel ürün ve bilimsel araştırmalar için kullanılmaktadır. Kimyasal uygulamalar için en önemli spektral bölge, titreşimsel kızılötesi (3–30 μm) bölgesidir. KA SEL’den elde edilen radyasyon, kimyasal reaksiyonlar ve moleküler titreşimlerin denetlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca yüzey kimyasında KA SEL; pump-probe deneyleri ve birçok yüzey çalışmalarına (yüzey salınımı, yüzey moleküllerinin zamana bağlı yeniden dağılımı gibi) olanak sağlar. Moleküllerdeki titreşimsel enerji transferleri üzerindeki çalışmalar, moleküler titreşimleri uyaran yüksek güçlü kısa atmalar gerektiren mod seçici kimya gibi yeni bir dizi deney üzerinde çalışmak için olanak sağlamıştır. Orta kırmızıaltı SEL ile silisyum (Si) atomunun izotoplarına ayrılması da yine gerçekleştirilen çalışmalardandır. Bütün bu uygulamalar fotokimya, mod seçici kimya, izotop ayırımı, ince film üretimi gibi alt başlıklar altında daha detaylı olarak aşağıda anlatılmıştır.

3.4.1. Fotokimya uygulamaları

Fotokimya, ışığın atom ve bileşiklerle etkileşimini inceleyen bilim dalıdır. Serbest elektron lazerleri fotokimya alanında genel olarak; yoğun madde ve gaz-faz fiziği çalışmaları (3–5 μm), değişik ortamlardaki moleküllerin titreşim dinamiklerinin incelenmesi (3–90 μm), kütle spektroskopisi için iyon oluşturmak gibi araştırma alanlarında kullanılmaktadır.

Pompa – Sonda deneyleri serbest elektron lazerinin fotokimya alanında uygulandığı tekniklerdendir. Bu teknik ile ultra hızlı spektroskopik ölçümler yapılmaktadır. Lazerlerin doku ve diğer materyallerle etkileşmesinin anlaşılması için bu teknik

gerekmektedir. Bu teknikte, Michelson interferometresi kullanılarak demet iki atmaya ayrılır. İki demet aynı pozisyonda eş zamanlı olarak ışıma yapmak zorundadır. Bu yüzden komplike ve zaman kaybedici optik bir düzeneğe gerektirir. Pompa atmasının rolü, örnekte fiziksel ya da kimyasal değişiklikler oluşturmaktır. Pompalama, elektronik ya da titreşimsel uyarılmış durumlar oluşturarak fotokimyasal tepkime indükleyebilir. Bu da örnek sıcaklığında ani bir atlamaya sebep olarak molekülü daha büyük elektrik alanla polarize eder. Bir defa pertürbe olan örnek daha sonra durulacaktır. Ultra hızlı spektroskopinin hedefi durulma süreçlerini ölçmektir. Sonda atmaları pek çok yolla durulma süreçlerinin görüntülenmesini sağlar. Durulan örnek zamana bağımlı soğurma ya da yansıma gösterir [25].

KA-SEL' in fotokimya alanındaki uygulamalarından biri de serbest elektron lazeri fotoakustik spektrometresidir (SEL-PAS). Bu uygulamada KA-SEL ışıma kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu lazerin soğurulması ile hedef molekölün uyarılması sağlanır. Moleküler parmak izi olarak bilinen 5~18 μm dalga boyu aralığı oldukça kullanışlı bir aralıktır. Çünkü bu, çeşitli moleküler yapıların genel soğurma özellikleri ile benzeşmektedir. Bu yüzden fotokimya uygulamalarında KA-SEL spesifik moleküler titreşimlerin uyarılması ile ilgili araştırmalarda kullanılmaktadır [11].

3.4.2. Mod seçici kimya

1992'den bu yana nadir bulunan gaz matrisleri üzerinde çeşitli araştırma projeleri yapılmaktadır. Gaz ve sıvı fazdaki moleküllerdeki enerji geçişi çalışmalarında, düşük frekanslı moleküler modlara ulaşabilen kaynakların varlığıyla ilerlemeler kaydedilmiştir. Kinetikteki çalışmalar, moleküllerdeki titreşimsel enerji transferlerini içermektedir. Bu, moleküler titreşimleri uyaran yüksek güçlü kısa atmalar gerektiren mod-seçici kimya gibi yeni bir dizi deney üzerinde çalışmak için yeni kapılar açmıştır. (Örneğin formik asit ve nitromethane'ın izotop seçici multifoton ayrışımının gözlemlenmesi gibi)

CLIO SEL’de, 4–12 μm aralığında değişik soğurma bandlarının etkinliği üzerinde ve tamamen moleküler titreşimlerin uyarılmasına dayalı yüksek güç ve kısa atma kaynakları gerektiren yeni bir çalışma alanı olan mod seçici kimya üzerinde çalışılmaktadır. Yine CLIO grubundan çıkan bir bildiride SEL kullanarak 10 ^0K sıcaklıktaki bir Argon matrisindeki d_2 ethane izomerizasyonunun kinetik çalışmalarının gerçekleştirildiği görölmüştür. Bu deneyde kullanılan ışınının dalga boyu 10 mikrondan uzundur. Ayrıca bu işlem mod-seçici kimya çalışmaları içinde önerilmektedir.

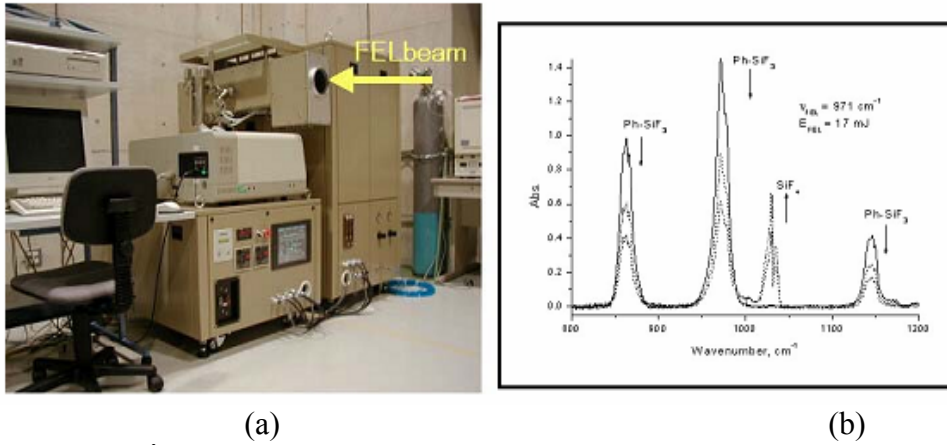
Projeler farklı matrislerdeki organik moleküllerin durulma ve ayrışmaları üzerindeki çalışmaları kapsamaktadır. Stanford’da yapılan çalışmaların öncülük etmesiyle, pump-probe ve foton yansıma deneylerinin yanı sıra değişik ortamlardaki (katı, sıvı) moleküllerin titreşimsel durulmaları üzerinde çalışmak da mümkündür. Stanford da SEL’i bir sıvı ve camda, kızılötesi foton yankı titreşim çalışmalarında kullanmıştır. Bu özel deneyler 5,1 μm ışınım kullanılarak yapılmaktadır. Bununla beraber, medium çevresindeki titreşim frekansları yani düşük frekans modlarında, molekülden mediuma enerji geçiş çalışmaları araştırılmaktadır. Bu uzun dalga boylu deneyler uzak- kırmızıaltı ps atmaları gerektirecektir ve sadece SEL kullanılarak yapılabilir [8].

Mod seçici kimya çalışmalarında, moleküler titreşimleri uyaran yüksek güçlü kısa atmalara ihtiyaç duyulduğundan SEL’ler kullanılmaktadır. 4 μm ile 12 μm arasında kullanılan serbest elektron lazeri ile farklı matrislerdeki organik moleküllerin durulma ve ayrışmaları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Moleküllerdeki titreşimsel enerji transferlerinin incelenmesi yapılan diğer çalışmalardandır. Bu çalışma için gerekli olan 3- 90 μm dalga boyu aralığı SEL’ den elde edilmektedir. Bu dalga boyu aralığı moleküllerin titreşim özelliklerinin incelendiği aralığa düşmektedir [6].

3.4.3. İzotop ayrımı

SEL ile yapılan başka bir çalışma da orta kırmızıaltı bölgede atomların izotoplarına ayrılmasıdır. Silisyum (Si) izotopları, yeni elektronik cihazların gelişimi ile ilgili

çalışmalara olanak sağlamaktadır. Örneğin, Tokyo’ da bulunan FEL- SUT merkezinde, kırmızıaltı aralıkta SEL ışınımı kullanılarak silisyum izotoplarının ayrılması çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışma için 9–11 μm aralığında SEL ışınımı kullanılmaktadır. Kullanılan mikro atmalar 2 ps atma uzunluğuna ve 5 Hz tekrarlama frekansına sahiptir. Makro atmalar ise 2 μs atma uzunluğuna ve 2856 MHz tekrarlama frekansına sahiptir. İlk olarak doğada katı halde bulunan Si atomları Ph-SiF₃ bileşiğine dönüştürülerek gaz haline getirilir. Ph-SiF₃ gazı, iki ucunda pencere bulunan, paslanmaz çelik bir silindir içerisine doldurulur. SEL ışınımı bu hücre içerisine mercekler yardımı ile odaklanır. Işınımın etkisi ile silindir içinde iyonlaşma meydana gelir. Daha sonra kütle spektrometresi kullanılarak gazın içerisinde bulunan iyon haldeki molekülden Si-28, Si-29 ve Si-30 lu Ph-SiF₃ ler birbirinden ayrıştırılır. Bundan sonra kimyasal yöntemlerle her Ph-SiF₃ deki Si izotopu ayrıştırılır [6, 26].



Şekil 3.3. a. İzotop ayırım sistem cihazı, b. Deney çıktısı

Şekil 3.3.a, İzotop ayırım deneyi için kurulan cihazı ve elde edilen yapıyı göstermektedir. Bu cihazın Gaz-Akış Dolaşım Sistemi, ZnSe penceresinin SEL ışını ile ışınlanmasını sağlayan bir reaksiyon zincirinin bütünüdür. Gaz örneğinin dolaşması için bir havalandırma fanı ve reaksiyon ürünleri arasından seçilenlerin kaldırılması için bir tuzaklama sistemi bulunmaktadır. Bu cihaz FTIR spektrometresi donanımlıdır ve reaksiyon ürünlerinin anında gözlemlenebilmesi için Q Kütle sistemi bulunmaktadır.

SiF_3X moleküllerinin multifoton ayrımları üzerinde sistematik bir araştırma yapılmış silikonun izotop ayrımı için uygun çalışma materyali aranmıştır. Şekil 3.3.b. 971 cm^{-1} dalga sayılı SEL ile ışınlanan PH- SiF_3 'ün FTIR spektrumunun değişimini göstermektedir. Düz çizgi başlangıç spektrumunu noktalı çizgiler her 1 saatlik ışınlama sonrasında gözlemlenen spektrumları göstermektedir [26].

3.4.4. İnce film üretimi

İnce filmler, elementlerin düşük basınçlı bir ortam içerisinde buharlaştırılması ve bu buharın daha düşük sıcaklıktaki alıcı yüzey üzerinde yoğunlaşması ile elde edilirler. Filmin alıcı yüzey üzerinde biriktirilebilmesi için; basınç, kaynak sıcaklığı, alıcı yüzeyin uygunluğu gibi birçok şartların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Buharlaşmış olan atomların alıcı yüzeyde toplanabilmesi için enerjilerinin yüksek ve sayılarının da bir kritik seviyenin üstünde olması gerekmektedir. Çünkü yüzeye gelen atomların bir kısmı yüzeyden yansır. Yalnız yüksek enerjide olanlar yüzeyde tutunarak çekirdekler meydana getirirler. Sonradan gelen atomlarda bu çekirdekler etrafında toplanarak düzgün bir film tabakasının oluşması sağlanır.

KA-SEL kısa süreli atmalarla hedef yüzeyinden plazma oluşumuna olanak verecek kadar enerjiye sahip olması nedeni ile bu uygulama için tercih edilmektedir. SEL ışıınının atması, polietilen glikol de (PEG) bulunan O-H' nin bağ boyu olan $2,9\text{ }\mu\text{m}$ ' ye ve C-H' in bağ boyu olan $3,4\text{ }\mu\text{m}$ ' ye ayarlanır. Bu dalga boyunda hedef malzemeden kopmalarla elde edilen ince filmler, biyomedikal uygulamalarda kullanılan çok önemli bir polimerdir. Gerek üniversitelerdeki araştırmalarda gerekse endüstride yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Doku mühendisliği, ilaç kaplama, yüksek kaliteli ve stabilitede tek eleman olarak rezistanslar, enfraruj filtreler, optik ve adi aynalar, yalıtkan yüzeylere lehim veya kaynak yapılmasında ve bazı yüzeylerin korunması bu ince filmlerin kullanıldığı uygulamalardan bazılarıdır [27].

KA-SEL ile ince film üretiminde PLD ve MAPLE teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler KA-SEL ile fizik ve kimya uygulamalarında kullanılan bazı teknikler bölümünde detaylı olarak açıklanmıştır.

3.4.5. Mikroskopi ve spektroskopi uygulamaları

Spektroskopi, bir örnekteki atom, molekül veya iyonların, bir enerji düzeyinden diğerine geçişleri sırasında absorplanan veya yayılan elektromanyetik ışımının ölçülmesi ve yorumlanmasıdır. Günümüzde kullanılan spektroskopik yöntemlerin başlıcaları şöyle sıralanabilir: Ultraviyole-görünür bölge absorpsiyon spektroskopisi, Floresans ve fosforesans spektroskopisi, Atomik absorpsiyon spektroskopisi, Atomik emisyon ve atomik flüoresans spektroskopisi, Kızılötesi spektroskopisi, Nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi, Kütle spektrometresi, Yakın Alan Mikroskopisi, Yarıiletken Spektroskopisi ve Titreşim Spektroskopisi gibi.

Bir spektrofotometre düzeneği, başlıca ışık kaynağı, dalga boyu seçicisi (monokromatör) ve detektörden oluşur. Detektörde elektrik akımına çevrilen optik sinyal, bir kaydedici veya bir galvanometre ile ölçülür. Dalga boyu seçicileri, ışık kaynağından gelen polikromatik ışıktan tek bir dalga boyunda monokromatik ışık elde edilmesini sağlayan düzeneklerdir. Monokromatör, filtreli fotometrelerde ışık filtresidir; spektrofotometrelerde ise ışık prizmasıdır. Örnek üzerine gönderilen ışığın daha monokromatik olmasını sağlamak için bazı spektrofotometrelerde çift monokromatör kullanılır. Spektrofotometre ile bir maddenin nicel analizinin yapılacağı dalga boyunu kararlaştırmak için absorpsiyon spektrumunu bilmek gerekir. Bunun için, maddenin 1 molar çözeltisinin çeşitli dalga boylarındaki absorbans değerleri ölçülür. Çözücünün ve çözeltide bulunan başka türlerin ışığı absorplamadığı, Lambert-Beer eşitliğine uyulduğu ve nicel analizin en duyarlı biçimde yapılabileceği dalga boyu değeri saptandıktan sonra analizi yapılacak maddeyi içeren ve derişikleri bilinen bir dizi standart çözelti ile bu dalga boyundaki absorbans (A) değerleri ölçülür. A değerleri, standart çözeltilerin bilinen derişiklerine karşı grafiğe geçirilir. Standart çözeltilerin bilinen derişiklerine karşı A değerlerini grafiğe geçirmek suretiyle elde edilen doğruya da kalibrasyon doğrusu denir.

Nicel analiz, kalibrasyon eğrisinin doğrusal olduğu bölgede yapılır. Derişimi bilinmeyen örneğin A değeri ölçülür ve kalibrasyon doğrusunda bu değere karşılık gelen derişim saptanır. Çözelti içersindeki bir bileşen Beer yasasına uyar, yani konsantrasyon ve absorbans değerleri arasında lineer bir ilişki bulunmaktadır [25].

Molekülleri oluşturan atomlar sürekli bir hareket içinde olduklarından, molekülün öteleme hareketleri, bir eksen etrafında dönme hareketleri ve bir kimyasal bağın uzunluğunun periyodik olarak kısalıp uzamasına veya moleküldeki açıların periyodik olarak değişmesine neden olan titreşim hareketleri doğar. Moleküllerde ortaya çıkan titreşimler gerilme ve eğilme hareketlerini oluşturur. Katı örneklerin dağılmış yansıma değerleri NIR spektrometresi ile yapılan çok ayırt edici bir ölçümdür. Dağılmış yansıma da katı parçacıkların neden olduğu saçılma ve absorbans sinyalin yoğunluğuna etki etmektedir [8].

3.5. KA-SEL'in Diğer Kullanım Alanları

KA-SEL ile fizik ve kimya dışında pek çok alanda da çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bunlardan ilk sırayı tıp ve medikal uygulamalar almaktadır. Bunun yanında sanayi ve askeri alanda da uygulamaları vardır.

Elde edilen kırmızıaltı ışınımı yakın kırmızıaltı bölgeden yüksek mikrodalgalar arasında yer alan THz bölgeyi kapsamaktadır. Bu dalga boyu aralığında yapıların titreşim frekansları ile uyumlu olmasından dolayı proteinlerde, enzimlerde, hücre çekirdeklerinde ve dokularda titreşimlerin rezonant uyarılmaları ile ilgili çalışmalar yapılabilmektedir. Diğer önemli bir araştırma alanı ise insan dokularının soğurma karakteristiklerinden yola çıkarak araştırılan medikal uygulamalardır. Görüntüleme teknikleri bu uygulamalara bir örnek olarak verilebilir.

Biyomedikal çalışmalarda, damar tıkanıklığı tedavisi için yapılan çalışmalar başı çekmektedir. Damarlarda bulunan kolesterol esterlerinin ayrılması SEL' de yapılan önemli bir biyomedikal uygulamadır. Bunun dışında, dokudan seçilen bölgenin kesilip çıkarılması üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Bu uygulamalarda SEL ayarlanabilir dalga boyuna ve kısa atma yapısına sahip olması özellikleri ile öne çıkmaktadır.

Biyolojik malzemeler üzerinde kesikli doku çalışmaları Eliel ve grubu tarafından incelenmiştir. İlk olarak 2,7- 6,8 μm dalga boyu aralığında Vanderbilt

Üniversitesinde yapılan bu çalışma FELIX SEL kullanılarak 10- 100 μm dalga boyu aralığına genişletilmiştir. Domuz korneası üzerinde bir doku kesisi çalışması yapılmıştır. Daha sonra bu çalışmalar dış minesinde 9,5 mikronda hidroksiapetit kristali üzerinde başarılı sonuçlar vermiştir. Kullanılan ışınım ile bedensel ve moleküler düzeyde cerrahi yöntemlerin geliştirilmesi ve anlaşılması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bunun dışında hücreleri ve hücre organellerini kontrol eden, örneğin kas kasılmalarına ve gevşemelerine neden olan büyük proteinlerin dinamikleri incelenmektedir [11].

Ossof ve Reinisch, Vanderbilt SEL'i, kemiklerin ve dokuların başarılı bir şekilde kesilmesi çalışmalarında kullanmaktadır. SEL' in dalga boyu ve atma yapısı dokuların kesilerle temizlenmesi için uygundur. Göz üzerine çalışmalar da yine medikal alanda yapılan diğer bir uygulama alanıdır. Vanderbilt SEL, korneadaki cerrahi çalışmalar için bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu grup, çeşitli göz dokularının kırmızıaltı soğurma spektrumunu incelemektedir.

Vanderbilt SEL kullanılarak biyoloji alanında da çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. SiO_2 ' deki titreşim modlarının ps süreçte durulmaları pompa- sonda deneyleri ile araştırılmaktadır. Edwards ve çalışma grubu tarafından, biyoloji ve tıp alanındaki SEL uygulamaları için maruz kalınacak dalga boyunu tanımlamak için çalışmalar yapılarak, kırmızıaltı mikroskopi teknikleri araştırılmaktadır. Kırmızıaltı spektroskopi, mineral yüzeyleri gibi ağır metal bileşenlerinin doğal ara yüzlerle moleküler etkileşimini belirlemede çok yararlı bir tekniktir. ELBE de bu çalışmalara yer verilmektedir. Spektrumda örnek içerisinde mevcut olan metal elementlerin ve soğurma sırasında şekillenen molekül komplekslerin yapısının belirlenmesi sağlanır [6].

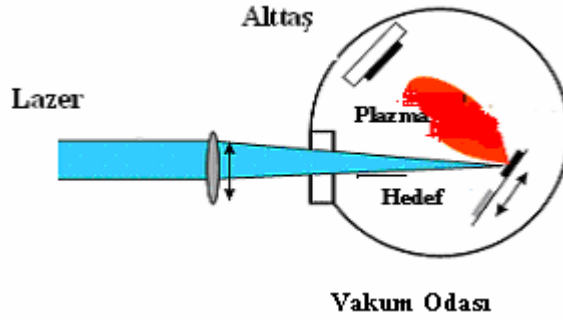
Moleküler mühendislikte de KA-SEL'in, kompleks moleküllerin kontrollü parçalanmaları için seçici ve net bağlarla moleküllerin ayrılması, biyolojik moleküllerde kütle spektrometresi ve doğrudan kimyasal yörünge yollarının incelenmesinde kullanılması planlanmaktadır.

3.6. KA-SEL İle Fizik ve Kimya Uygulamalarında Kullanılan Bazı Teknikler

Bu bölümde KA-SEL kullanılarak fizik ve kimya alanındaki uygulamaların gerçekleştirilmesinde kullanılan Lazer Depolama İşlemi (PLD), Kırmızıaltı Matris Yardımlı Lazer Desorpsiyon/İyonlaşmalı Kütle Spektroskopisi (IR MALDI MS), Kırmızıaltı Matris Yardımlı Atmalı Lazer ile Buharlaştırma (IR MAPLE), Kırmızıaltı Rezonans Artırıcı Çoklu Foton İyonizasyonu (IR REMPI), Yüzey Etkisi Artırılmış Lazer Desorpsiyon/İyonizasyon Kütle Spektrometresi (SELDI), Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazeri ile Fotoakustik Spektroskopi (SEL-PAS) gibi yöntem ve teknikler araştırılarak açıklanmıştır.

3.6.1. Lazer depolama yöntemi (PLD)

Lazer depolama yönteminde, ince film hazırlama işleminde lazerin madde ile etkileşmesinden yararlanılır. Bu teknik, pürüzsüz ve kararlı yüzeyler sağlar. Lazer depolama işlemi, vakum odası içerisindeki hedefe yüksek güçte lazer tutulması ile gerçekleşir. Lazer tutulması, hedefteki malzemenin buharlaşarak, alttaş üzerine kaplama yapılabilmesini sağlar. Bu işlem çok yüksek basınçlı vakum ortamlarında veya bir alt gazın bulunduğu ortamda yapılabilir. Örneğin, oksijen, oksit kaplama işlemlerinde kullanılır. Lazer demeti, hedefe ulaştığında, enerji hedef tarafından absorblanarak termal enerjiye çevrilir. Buharlaşma oluşur ve plazma ortaya çıkar. Plazmanın içerisinde çok yüksek enerjili parçacıklar vardır. Bu parçacıklar, sıcak alttaş üzerinde birikerek film tabakasını oluşturur [28]. Şekil 3.4' de PLD' nin şematik gösterimi verilmiştir.



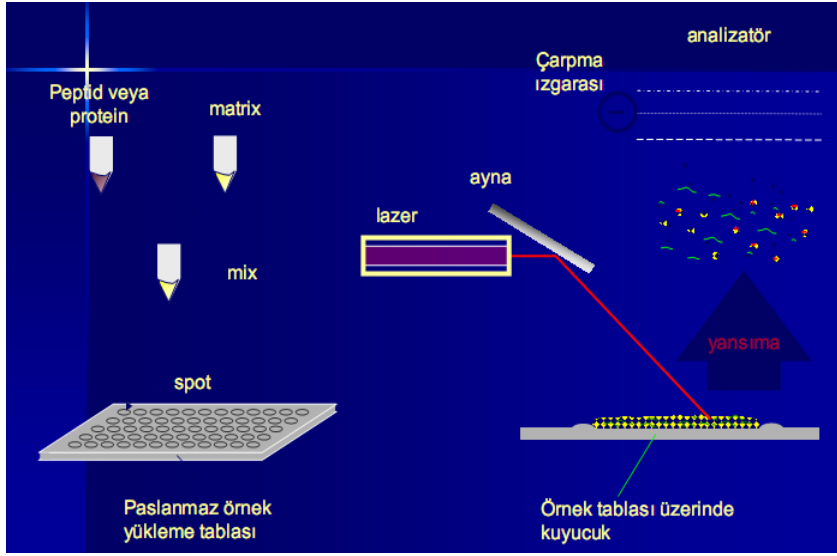
Şekil 3.4. PLD'nin şematik görünümü

PLD işlemi 4 evrede incelenebilir. İlk olarak lazer ile hedef malzemeyi buharlaştırarak, plazma oluşturulur. Arkasından plazmanın yüksek enerji ile yüklenmesi sağlanır. Üçüncü olarak kaplanacak yüzeyde, biriktirmenin başlaması gerçekleşir. Son olarak filmin alttaş üzerinde büyümesi ile işlem sonuçlanır. Bu evrelerden ilkinin mekanizması şu şekildedir. Lazer ile yüzeyden atom buharlaştırmak çok kompleks bir işlemdir. Atomların yüzeyden sökülmesi, buharlaştırma ile yapılır. Malzemelere göre, lazer demetini yüzeyden ne kadar derine geçirebilecekleri değişkendir. Çoğunlukla bu mesafe 10nm civarındadır. Ortaya çıkan elektronlar, lazer ışınının oluşturduğu manyetik alan içerisinde toplanırlar ve alttaş ile hedef arasında enerji geçişine neden olurlar. Hedef yüzeyin enerjisi artar, sıcaklığı artar ve malzeme buharlaşmaya başlar. Plazma içerisindeki sıcaklık 10000 ⁰K civarındadır. İkinci evrede, plazma dinamiği, yani buharlaşan malzemenin alttaşa taşınması sağlanır. Plazmanın işlevi 3 adımda gerçekleşir. İlk olarak vakum bölümünde, plazma çok dar ve uzunlamasına yönelmiştir. Bu evrede, alt gazlar ile saçırma oluşmaz. Orta bölgede, düşük enerjili parçacıklardan, yüksek enerjili iyonların ayrılması gözlenir. Yüksek basınçlı bölge ise buharlaştırılan malzemenin, difüzyona benzer şekilde, taşındığı ve saçıldığı bölgedir. Alt gaz bu bölgede, biriktirilen filmin stokiyometrisini belirler. Üçüncü evre ise kaplanan filmin kalitesinin belirlendiği ve en önemli olan evredir. Yüksek enerjili parçacıklar hedeften koparılıp, alttaş üzerine gönderilirken, bazı parçacıklar yüzeye zarar verebilirler ve filmin kalitesinin bozulmasına yol açabilirler. Alttaştan saçtırılan partiküller ve hedeften koparılan atomlar, yoğunlaşma için gerekli toparlanmayı sağlarlar. Yoğunlaşma gerekli seviyeye ulaştıktan ve sıcaklık gerekli değere

yükseldikten sonra alttaş üzerinde film büyümeye başlar. Dördüncü ve son evrede, filmin büyümesi incelenir. Filmin kristalize büyümesi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar, yoğunluk, enerji, buharlaştırılan malzemenin iyonizasyon derecesi ve sıcaklıktır. PLD kaplamada, plazma boyutu, elektron demeti yönteminden daha küçük ve yoğundur. Bu yüksek yoğunluklu plazma bölgesi, filmin düzgünlüğünü artırır. PLD kaplama bu yüzden en düzgün filmlerin elde edilebildiği kaplama türüdür. Ancak bu teknik sadece basit bileşiklerde kullanılmaktadır. Bu olumsuzluk MAPLE tekniği ile çözüme kavuşturulmuştur [28].

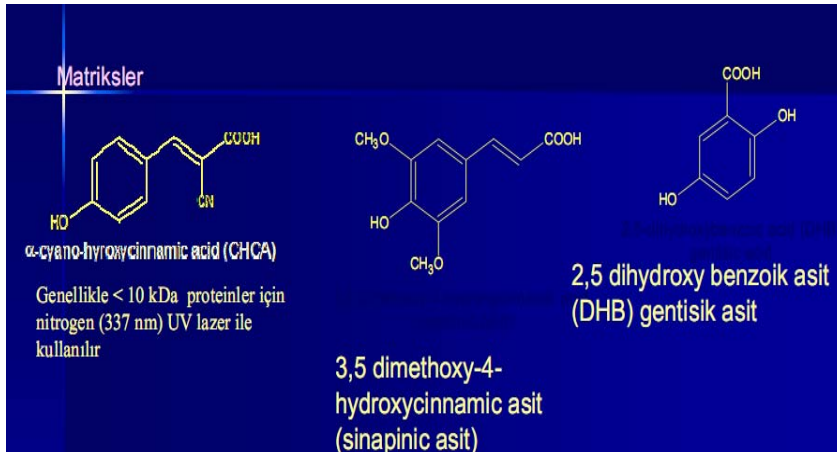
3.6.2. Kırmızıaltı matris yardımcı lazer desorpsion / iyonlaşmalı kütle spektroskopisi (IR MALDI MS)

MALDI-MS 1980'lerin sonunda Tanaka (Japonya) ve Hillenkamp/Karas (Almanya) tarafından geliştirilmiş biyomoleküllerin analizi için kullanılan bir tekniktir. Protein, peptit, oligonükleotit, oligosakkarit, ilaçlar, metabolit sistemler ve sentetik polimerlerin analizinde kullanılır. Yüksek molekül ağırlıklarına sahip maddelerin, özellikle proteinler, peptitler ve DNA zincirleri gibi biyomoleküllerin ve bunların kovalent olmayan komplekslerinin, yumuşak iyonlaşma özelliği sayesinde parçalanmadan incelenmesine de olanak sağlamaktadır. MALDI düşük konsantrasyon ve düşük molekül ağırlıklı proteinlerin yüksek özgüllük ve duyarlılıkta ayırımını ve tayinini mümkün kılmaktadır. MALDI sisteminin avantajı yüksek kütle analizi, düşük gürültü, yüksek duyarlılık, az örnek tüketimi, kısa ölçüm zamanı ve minimum parçalanma sağlamasıdır [29,30].



Şekil 3.5. MALDI MS' in şematik gösterimi

Şekil 3.5.'de MALDI MS'in şematik gösterimi verilmiştir. Bu yöntemde şekilde gösterildiği gibi peptid analiti MALDI plağında uygun matris içinde ko-kristalizasyona uğrar. Daha sonra plaka lazer tarafından ışına maruz bırakılır. Böylece lazer enerjisini absorbe eder ve absorbe edilen enerji yüzeyden analite transfer olur. Analit iyonize hale geçer ve iyonlar kütle analiz birimine aktarılır. Enerjiyi pompalamanın en iyi yolu lazer ışınlaması yapmaktır. Bu nedenle lazer dalga boyunu güçlü şekilde absorblayacak bir madde matris olarak seçilir. En uygun matris maddesi aromatik moleküllerdir [31]. Şekil 3.6. da bu yöntemde kullanılan matrisler gösterilmiştir.

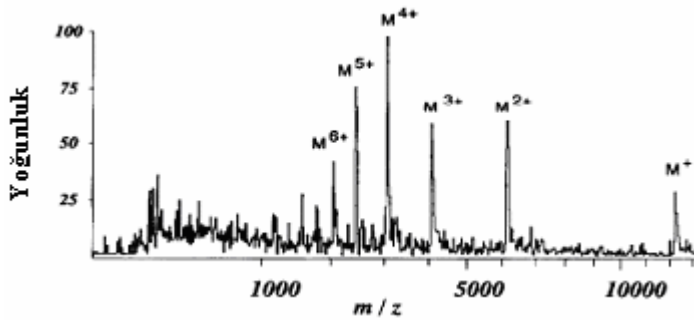


Şekil 3.6. MALDI MS için kullanılan matris örnekleri

Düşük molekül ağırlıklı bileşiklerin kütleleri, matris bileşiğinin ve analit iyonlarının arasındaki karışmadan oluşan molekül ağırlığına benzerdir. Bu karışma durumu MALDI 'nin duyarlılığını azaltabilir. En uygun koşullar altında bu, küçük iyonlardaki karışma analit sinyali, matris sinyalini aştığında bulunabilir. Bu yüzden matris seçimi önemlidir.

IR- MALDI kütle spektrometresi üzerine ilk deneyler, düşük molekül ağırlıklı bileşiklerin analizinde serbest elektron lazeri kullanılarak yapılmıştır. Örneğin; Serbest elektron lazeri kullanarak, 3 μm ve 6 μm bölgelerinde Ethylenedi-aminetetra asetik asit (EDTA) ve fosfat tuz örneklerinden kütle spektrumları elde edilmiştir. EDTA'dan alınan IR MALDI değerlerinin ayarlanan değerlerle karşılaştırılması yapılmış ve birbirine yakın bulunmuştur. Daha sonra ayarlanabilen SEL lazerleri ile seçici olarak matrisin veya kristal MALDI numunesi içeren atık suyun, özel titreşim modları uyarılmıştır. Bu özel titreşim modlarının uyarılabilmesi ile de EDTA için IR-MALDI nin buharlaşma ve iyonizasyon mekanizmalarının belirlenmesi sağlanmıştır. Yine yakın zamanda IR-MALDI ile geliştirilen yüksek performanslı ince tabaka kromatografisi (HPTLC) çalışmalarında fosfolipit karışımlarının analizi çalışmaları gerçekleştirilmiştir [31,32].

Şekil 3.7.' de sitokrom-C'nin succinic asit içerisinde ki IR-MALDI spektrumu gösterilmektedir. Bu spektrum da yüksek verim ile iyon depolandığı gösterilmektedir.

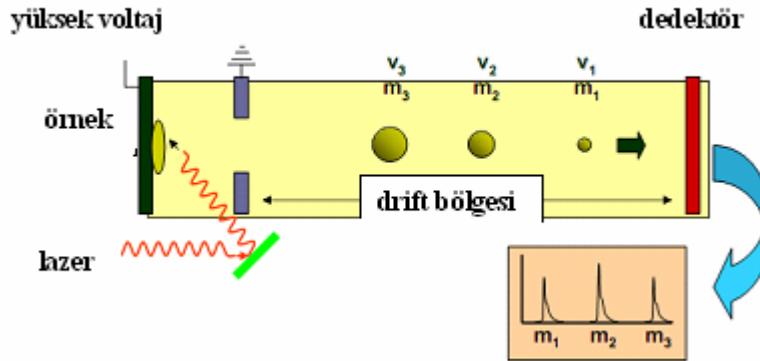


Şekil 3.7. IR-MALDI spektrumu

MALDI ışıması büyük kristallerden oluşan örnekleri, mikro-kristal örneklerle göre daha iyi gözlemleyebilmektedir. IR MALDI, düşük moleköl ağırlıklı katı, sıvı ve atık karışımların analizi için potansiyel olarak güçlü bir tekniktir. SEL' in ayarlanabilirliği, MALDI-MS'in, metal-ligand bileşikleri olarak tanımlanan zayıf karakterli örneklerle uymasını sağlar. Küçük metal – organik moleküller ve özellikle karboksilik alkali bileşikler biyolojik işlemlerde, arayüzey fiziğinde, kimyada ve kütle spektrometresinde önemlidir.

Uçuş zamanlı kütle spektroskopisi MALDI TOF MS

MALDI-TOF proteinleri peptid kütle parmak izi ile tanımlayan bir tekniktir. Bu teknikte örnekler kütle spektrometresine pasif bir proba sunulur. Enerji absorbe eden bileşik, lazer enerjisini termal enerjiye çevirir ve desorpsiyon/iyonizasyon işlemini kolaylaştırır. TOF'da refletron bir grup halkasal lensten oluşur ve bunlar bir yığın halinde bulunurlar. Sürekli artan yüksek bir potansiyel, halkalara uygulanır. Reflektron biriminde iyonlar yüksek kinetik enerjiyle ivmelendirilir. İyonlar uçuş tüpü boyunca hız farklılıklarına göre ayrılır. Detektöre çarpan iyonlar kuvvetlendirilerek sayılır. Hareket anında her peptid bir paket iyonla temsil edilir. Bu iyonlar dar bir aralıktaki kinetik enerjiye yani hıza sahip olarak hareket ederler. Hızlı hareket eden iyonlar reflektrota ilk ulaşanlardır. Sahip oldukları yüksek kinetik enerjiden dolayı reflektrota daha fazla ilerlerler. Kinetik enerjileri sıfır oluncaya kadar bu hareket devam eder. Bu arada diğer iyonlar da reflektrota giriş yaparlar. Bu iyonlar yönleri değiştirilmeden önce refletron içinde daha az mesafe kat ederler (kinetik enerjileri daha az olanlar daha çabuk sıfır noktasına ulaşırlar). Bunun sonucunda yavaş hareket eden iyonlar, iyon paketinin önündeyken hızlı hareket edenler arkasında kalır [30].



Şekil 3.8. TOF çözümleyicinin şematik görünümü

Moleküller, aynı yüke sahip olduklarında kütleleriyle orantılı bir hıza sahip olacaklardır. Genel olarak MALDI’de peptidler +1 yüklüdür. Peptidler, kütlelerine göre uçuş tüpün içinden geçerler ve farklı zaman aralıklarında detektöre çarparlar. Kütle spektrometresi verileri kolayca m/z oranına dönüştürür. Jel elektroforezinden izole edilen proteinler; enzimlerle parçalanır, tuzlarından arındırılır. Kristalizasyon için doymuş matris solusyonu içeren MALDI plağına aktarılır. Daha sonra lazer ışını uygulanır. Hızlı enerji transferiyle plaka yüzeyinden iyon fırlatılır ve peptidleri gaz fazına dönüştürür. MALDI plağına +20 ile +30 kV’larda yüksek voltaj uygulanır. Pozitif yüklü peptidler uçuş tüpünün ağzına doğru hızlanır. Peptidler ağız kısmına $(z/m)^{1/2}$ orantılı bir hızla ulaşırlar. Peptidler ağız kısmını geçtikleri anda hepsi aynı kinetik enerjiye sahiptir. Ancak farklı kütleden dolayı aynı hıza sahip değildir. Küçük kütleli iyonlar önce detektöre çarpar ve sinyal kaydedilir. Veriler bilgisayar ortamında değerlendirilir.

Yukarıda açıkladığımız TOF çalışma sistemini aşağıdaki eşitlikler ile açıklayabiliriz [30].

$$E_p = zeV \quad (3.1)$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3.2)$$

$$v = \frac{d}{t} \quad (3.3)$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = zeV \quad (3.4)$$

Eş.3.4. de Eş.3.3.'ü yerine yazarsak,

$$\frac{1}{2}m\left(\frac{d}{t}\right)^2 = zeV \quad (3.5)$$

$$t = \sqrt{\frac{md^2}{2zeV}} \quad (3.6)$$

$$t = k\sqrt{\frac{m}{z}}, \quad k = \frac{d}{\sqrt{2eV}} \quad (3.7)$$

E_p = potansiyel enerji

E_k = kinetik enerji

m = iyon kütlesi

z = iyon yükü

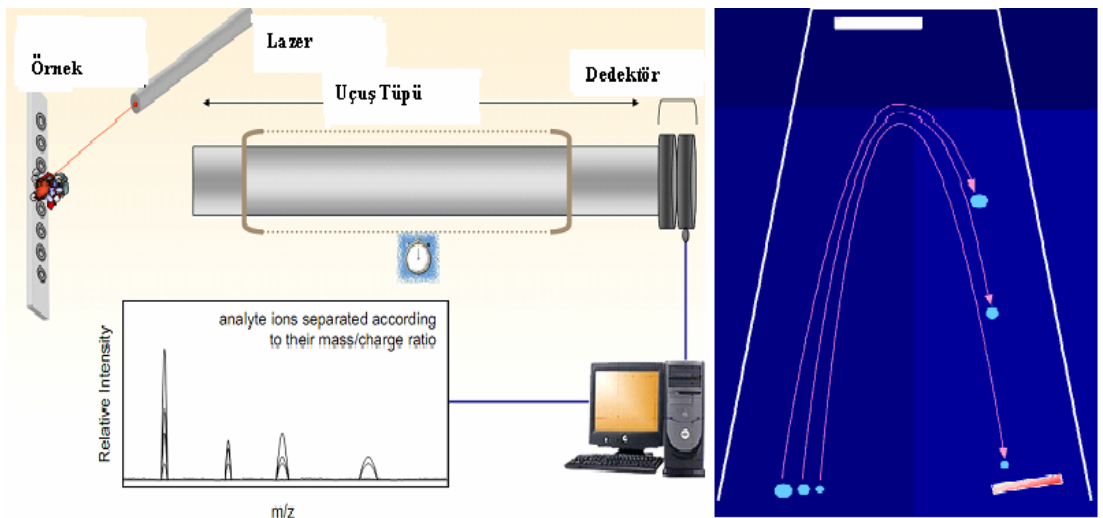
$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ yük

V = hızlandırma voltajı

v = iyon hızı

d = uçuş tüpü uzunluğu

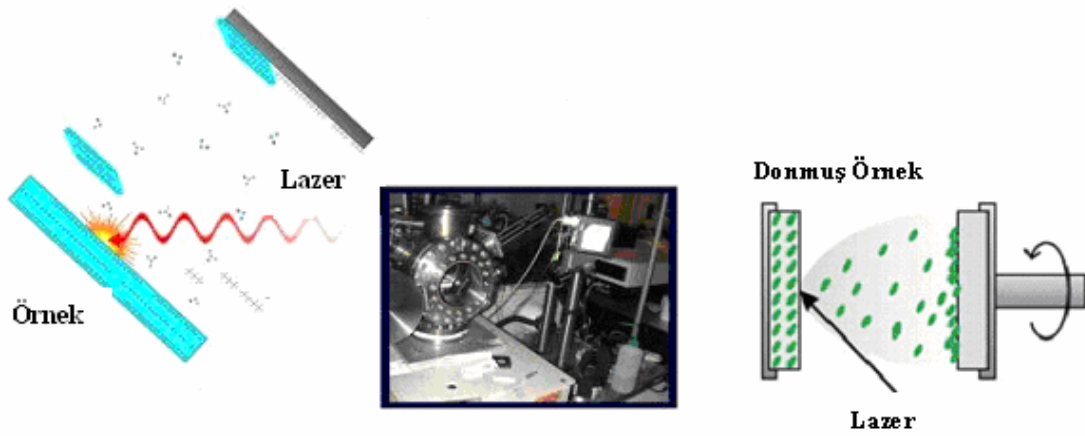
t = iyonun dedektöre varış zamanı [30]



Şekil 3.9. MALDI TOF MS şematik görünümü

3.6.3. Kırmızıaltı matris yardımcı atmalı lazer ile buharlaştırma (IR MAPLE)

MAPLE, lazer ile maddenin etkileşmesine dayandırılan yeni bir depolama tekniğidir. Bu teknik küçük ve büyük molekül ağırlıklı türleri, özellikle polimer ve biyomalzemeleri yoğun fazdan buhar fazına aktarmak için geliştirilmiş tahribatsız bir mekanizmaya sahiptir. MAPLE tekniğinde, bir çözücü içinde çözünmüş olan malzemeden oluşan hedef dondurulur ve lazer kullanılarak buharlaştırılır. Lazerin hedef ile etkileşimi ile materyal, plazma haline gelir ve bazı elementler basit inorganik bileşikler şeklinde yeniden yaplanır. Yüksek enerjili lazerin akıcı olması, hem foto termal ayrışımına neden olurken, hem de daha karmaşık organik kısımların transferini mümkün kılmaktadır [28].



Şekil 3.10. MAPLE tekniğinin şematik görünümü

Şekil 3.10.' da MAPLE tekniği şematik olarak gösterilmiştir. Bu teknik temelde şu aşamaları içermektedir. İlk olarak çözücüyle etkileşmeyen ve buharlaşabilen bir seyreltik madde oluşturulur. Bu madde sıvı azot sıcaklığında dondurulur ve lazer ışını ile dondurulmuş maddeye ışınlama yapılır. Daha sonra çözücü tarafından lazer ışını emilir ve termal enerjiye dönüşür. Çözünen madde hedefin önüne yerleştirilen uygun bir yüzey üzerinde toplanır. Ayrıca, MAPLE tekniği uygulanırken bileşiğin, seçilen lazer ışınını absorbe etmediğinden emin olunmalıdır. Fakat çözücü lazer ışınını absorplar. Böylece lazer ışını hedefe ulaştığında, çözelti buharlaştırılır ve matris vakum sistemi tarafından toplanır ve boşaltılır. Sonuç olarak, sadece uygun materyal moleküllerinin madde üzerine toplanması sağlanır. Bu tip tahribatsız bir

teknik olan MAPLE ile, kompleks kimyasal yapılardaki (organik, biyoorganik moleküllerin, düzenli bileşiklerin ve polimerlerin) depolama problemleri çözümlenmiş olmaktadır [33].

MAPLE tekniği SEL ile birlikte ince film şeklindeki polianilinlerin büyütülmesinde veya gözlemlenilmesinde başarıyla kullanılmaktadır. Polianilin, hava ve nem varlığında oldukça kararlı olması ve elektriksel özelliklerinden dolayı şarjlı piller, diyotlar ve transistörler gibi elektronik sistemlerde yaygın kullanım alanı bulan iletken bir polimer olması da bu çalışmaları önemli kılmaktadır. İletken polimer yapıların özelliklerinin MAPLE yöntemiyle incelenmesi pil, biyosensörler, uyuşturucu maddeler, gaz ayırma çeperleri, elektrokimyasal kapasitörler, elektromanyetik radyasyon kalkanı, transistörler, polimer-polimer heterojunctionlar gibi yapıların kullanımında aktif rol oynamıştır. Ayrıca polianilinler önemli elektro-iletken özelliklere ve IR aralığında yüksek soğurmaya sahiptir. Aynı zamanda kimyasal etkileşimleri elektrik sinyallerine dönüştürebildiğinden dolayı gaz sensörlerinde de kullanılmaktadır. Bu sınıftaki materyaller son zamanlarda tanıtılmaktadır ve 2000 yılında bu alanda Shirakawa, Heeger ve Mac Diarmid yaptıkları çalışma ile Nobel ödülü almışlardır.

İncefilm ve nanoyapılar şeklinde polianilinler elde etme yöntemleri oldukça karmaşıktır. Hem alttaş yüzeyinde hem de polimerin kendi içinde fiziksel ve kimyasal özel işlemler gerektirir. Ancak ince filmler ve nanoyapılar şeklinde polianilinler elde etmek için MAPLE tekniği başarı ile kullanılabilir. Çünkü deneylerde kullanılan, alana düşen enerji miktarı, ince filmlerin alttaştaki geniş alanları kaplaması, film büyütme boyunca kullanılan maskelerin kullanımı ile yapılmış iletken benzer kalıplar MAPLE tekniğini bu çalışmalar için uygun kılmaktadır [33].

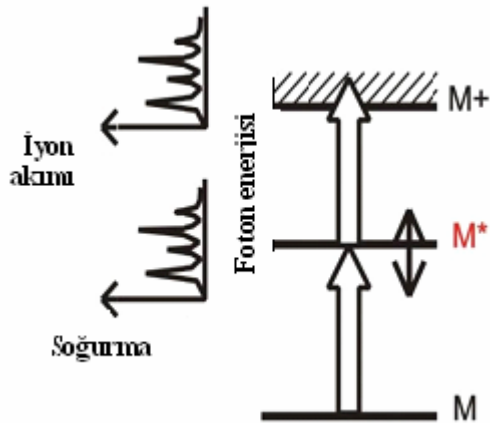
Son 20 yıllık dilimde ince film olarak CdS materyallerin önemi artmaktadır. Bu materyaller; ledlerde, enerji dönüşümünde ve depolanmasında ve lineer olmayan optik gibi uygulama alanlarında gereklidir. Kadmium incefilm depolaması için MAPLE tekniği kullanılmaktadır. $[Cd\{SSi(O-Bu^t)_3\}(S_2CNEt_2)]_2$ ince filmi silikon

üzerine CdS katmanları MAPLE tekniği ile katkılanmaktadır. MAPLE dışında da CdS tabakaları elde etmek için birçok yöntem vardır. Bunlar; kimyasal buhar depolama yöntemi, yeni bir teknik olan PLD yöntemi gibi tekniklerdir. Ancak bu teknikler ya hafif ve kontrollü şartlarda optoelektronik incefilm aygıtlarının üretiminde, ya da sadece basit bileşiklerde kullanılabilir. Böyle zorlukları ortadan kaldırmak için lazer ile maddenin etkileşmesine dayandırılan yeni depolama tekniği MAPLE geliştirilmiştir. Bu teknik küçük ve büyük molekül ağırlıklı türlerin yoğun fazdan buhar fazına aktarmak için uygun bir mekanizma sağlamaktadır [28].

3.6.4. Kırmızıaltı Rezonans Artırıcı Çoklu Foton İyonizasyonu (IR-REMPI)

IR-REMPI tekniğinde, SEL'in ayarlanabilirliğinden, mikro saniye ölçeğindeki etkisinden ve yüksek enerjisinden faydalanır. İlk IR-REMPI deneyleri, içi boş küre şeklindeki karbon moleküllerini incelemişken, teknik sonraları biyomolekülleri, gaz fazındaki kompleksleri araştırmak için kullanılmıştır. Genelde gaz faz spektroskopisinde gerçekleştirilen deneyler, numunenin çok düşük soğutulması ile karakterize edilmektedir. Tespit etme sistemi, türün ayrılmasına veya iyonize edilmesine dayanır. Bu durumda lazer akıcılığı üzerinde kuvvetli bir lineer olmayan bağımlılık vardır. Bu yüzden FELIX bu uygulama için tipik olarak 1 GHz modunda çalışır [35].

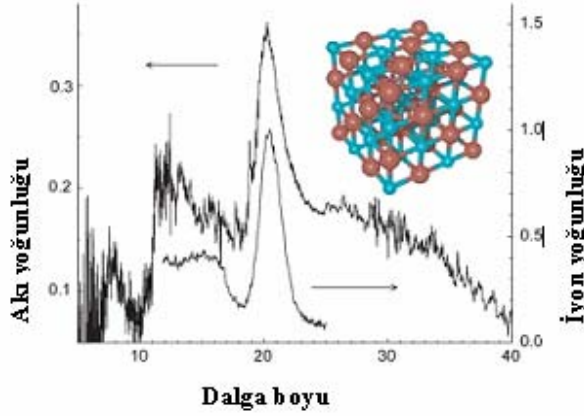
Şekil 3.11'de rezonans iyonizasyon spektroskopisi gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Rezonans iyonizasyon spektroskopisi

IR-REMPI ile ilk fulleren deneylerinde, C_{60} molekülleri içsel enerjileri $19,2 \mu m$ rezonans frekansında 35–40 eV'a kadar uyarılır. Bu içsel enerjide C_{60} molekülleri bir elektronun termiyonik emisyonuna maruz kalır ve C_{60} iyonu kütle spektrometresi ile çok hassas olarak tespit edilir. SEL dalga boyunun bir fonksiyonu olarak bir türün kütle spektrumunun kaydedilmesi, doğal molekülün IR spektrumunun ölçülmesine imkan verir.

Nanokristallerde de IR-REMPI tekniği çok geniş bir araştırma imkânı sağlamaktadır. FELIX'te IR-REMPI tekniği kullanılarak titanyum karbürün IR spektrumu ölçülmüş ve daha önceden önerilen Ti_8C_{12} 'nin metallo-carbonhedrenes (Met-Cars) yapısı ve $Ti_{13}C_{14}$ 'ün nanokristal yapısına ilişkin deliller bulunmuştur. Met-Cars, karbona çok sayıda, tek kafes benzeri yapı ve çoklu kafes yapıya benzeyen, benzersiz stkiyometri ile karbona bağlanmış, erken dönüşüm metallerinden meydana gelir. Daha büyük TiC kümelerinin IR spektrumlarının, $Ti_{13}C_{14}$ 'ün IR spektrumuna benzemesi gösterir ki daha büyük kümelerde nanokristal yapıya sahiptir. Değişik boyutların dalga boyu spektrumu Şekil.11'de gösterilen karışık spektrumda toplanmıştır. Bu şekilde $20,1 \mu m$ de yaklaşık $1,8 \mu m$ genişliğinde güçlü bir pik vardır. Çok dikkat çekicidir ki AGB sonrası objelerin IR spektrumunda $20,1 \mu m$ de belirgin bir durum hâkimdir. Bu durum aynı profil ve aynı dalga boyuna sahip tüm kaynakların IR spektrumunda bulunmaktadır. SAO 96709 AGB objesinin kırmızı ötesi uzay gözlemevi (ISO) uydusu tarafından alınan emisyon spektrumu da yine Şekil.11'de karşılaştırma amacı ile gösterilmiştir. Bu $20,1 \mu m$ durumu yıldızsal evrimin AGB sonrası dönemine özgüdür ve diğer evrimsel dönemlerin hiçbirinde objeler için gözlenmemiştir. Bu sonuçlar, düşük yoğunluklu yıldızların evriminin son dönemlerinin anlaşılması açısından önemlidir ve SEL lerin astrofiziğe önemli bir katkısını gösterir [35].



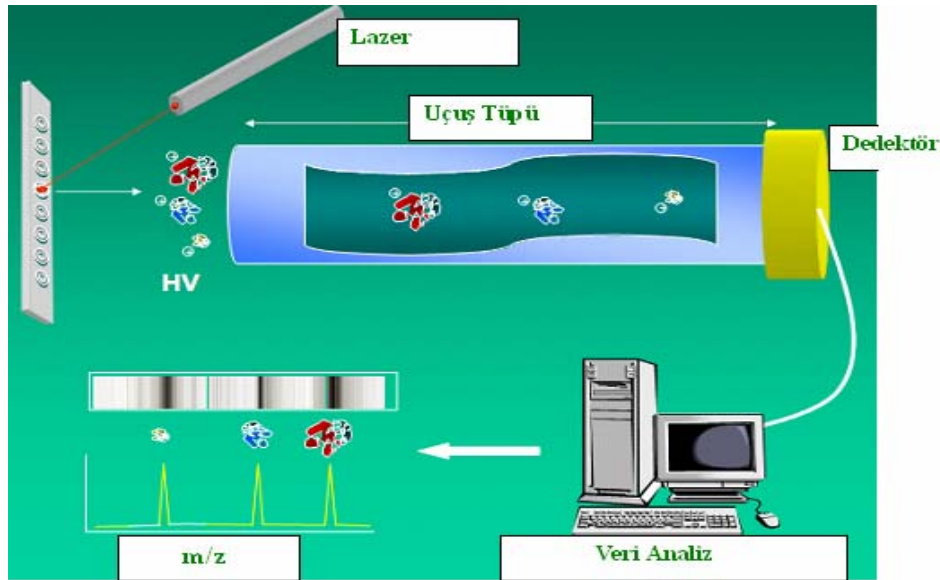
Şekil 3.12. IR-REMPI spektrumu

Sitozin ve farklı türevleri'nin (1 metil sitozin ve 5 metil sitozin gibi) spektrumları, farklı frekanslarda IR-REMPI spektrometresi kullanılarak alınmıştır. Sitozin DNA ve RNA'daki azotlu bazlardan biridir. Sitozin, DNA ve RNA'da guanin ile üç hidrojen bağı kurarak bir baz çifti oluşturur, ancak kararsız bir yapıya sahiptir. Sitozin ve farklı türevlerinin gözlemlenip bu yapıların net özelliklerinin anlaşılması için IR-REMPI spektroskopisi başarı ile kullanılmaktadır [36].

IR-REMPI tekniğine alternatif olarak, uyarma durumunda meydana gelen bir değişikliği incelerken, türün bileşiminde meydana gelecek değişikliğin IR spektrumunun kaydedilebilmesinde kırmızıötesi çoklu foton ayırması (IR-MPD) tekniğinde kullanılmaktadır. IR-MPD metodu, lazer ışığının bir kümenin IR aktif modu ile rezonant olmasını ve kümenin bir veya daha fazla fotonu emmesini gerektirir. Eğer bu enerji depolaması kompleksin ayrılmasına yol açarsa, kütsel spektrometrik yoğunlukları düşecektir. IR boşaltma spektrumları, FELIX SEL sisteminin dalga boyunun bir fonksiyonu olarak iyon yoğunluğunun kaydedilmesi ile oluşur. IR-MPD spektroskopisi için orta IR dan uzak IR bölgelerine geniş bant ayarlanabilirliğine ihtiyaç vardır. Bu nedenle, SEL kullanımı ile pek çok çalışma başarı ile gerçekleştirilebilmektedir [35].

3.6.5.Yüzey etkisi artırılmış lazer desorpsiyon/ionizasyon kütle spektrometresi (SELDI)

SELDI; 1990'ların başında, T. William Hutchens ve Tai-Tung Yip tarafından geliştirilen, protein karışımlarında kütle spektrometresi analizi için kullanılan, bir iyonizasyon yöntemidir. Yöntem; biyoçip üzerinde kimyasal olarak modifiye edilmiş yüzeye, selektif olarak absorbe edilen ilgili proteinlerin affinite esaslı kütle spektrometrik yöntemle analiz edilmesine dayanmaktadır [29].



Şekil 3.13. SELDI tekniğinin şematik görünümü

SELDI MS, MALDI MS ile hedef yüzey üzerinde lazer matris ile birlikte kristalleşen örneklerin iyonlaştırılması esasına dayanması bakımından benzerdir. Ancak, SELDI içindeki protein çip kromatografik yüzeyi, MALDI'nın hedef yüzeylerinin aksine, proteinlerin spesifik özelliklerine göre karmaşık karışımlardan ayrılması için eşsiz olarak dizayn edilmiştir. Ayrıca SELDI de eklenen matris solusyonundan sonra proteinler lazer ile iyonlaştırılır ve TOF MS ile de proteinlerin moleküler ağırlıkları ölçülür. SELDI teknolojisi kısaca, ön işlem gerektirmeksizin, minimal miktarda biyolojik sıvı ile klasik katı faz ekstraksiyon kromatografisinin, direkt lazer desorpsiyon iyonizasyon kütle spektrofotometrik ölçümü ile kombine edilmesi temeline dayanmaktadır [37].

SELDI MS ile protein analizine yönelik pek çok uygulama başarı ile yapılmaktadır. Bunlardan birkaçı; protein ailelerinin biyokimyasal ve kimyasal karakterlerini anlamak, yüzeyde proteinleri yakalamak ve yakalanan proteinleri TOF MS veya MS/MS ile analiz etmektir. SELDI-TOF-MS'in geliştirilmesi ile serum ve idrarda hepsidin ölçümü daha hızlı basit ve erişilebilir olmuş, antikor ve antijen üretiminde karşılaşılan zorlukların da önüne geçilmeye çalışılmıştır.

SELDI TOF MS glikozile ve fosforile'yi tanımlamada etkilidir. Genellikle glikozilasyon proteinleri SELDI TOF MS tarafından analiz edildiği zaman genel bir pik verir. Daha sonra şeker grubunun moleküler ağırlığı TOF MS spektrumu karşılaştırılması sayesinde belirlenir. Bir diğer önemli uygulama proteinlerin fosforilize hallerini çalışmak için SELDI TOF MS in kullanımını içerir. Bu proteinler genetik bilgi aktarımı sinyali içerdikleri için oldukça önemlidir [38].

Tanımlanan popülasyon gruplarından protein kalıplarını saptamak için SELDI kullanılmaktadır. Burada, kan ve doku örnekleri hastalardan alınır ve farklı kimyasallar ile farklı protein çip dizilimleri üzerine dağıtılır ve protein profili elde edilir. Protein çip dizilimi yüzeyleriyle proteinlerin etkileşimleri sayesinde farklı popülasyon gruplarını araştırarak, tek protein ifade profilleri üretilir. Biomarker Patterns Software gibi istatistiksel programlar kullanarak ta özel pattern ayırt edilir. Sonuçlar kliniksel tanı olarak hastalığın aşamasını ve /veya tedavinin faydasını tanımlamak için kullanılır. Farklı dizi yüzeyleri kullanılarak hastalık aşamasının tüm resmi çizilebilir ve bu nedenle hastalığın daha iyi anlaşılması ve gerekli tedavi sağlanır. National Kanser enstitüsünde Petricoin ve Liotta, prostat ve yumurtalık kanseri olan hastalardan alınan serum örneklerinin protein parmak izi profillerini meydana getirmek için SELDI-TOF MS i başarılı bir şekilde kullanmışlardır [38].

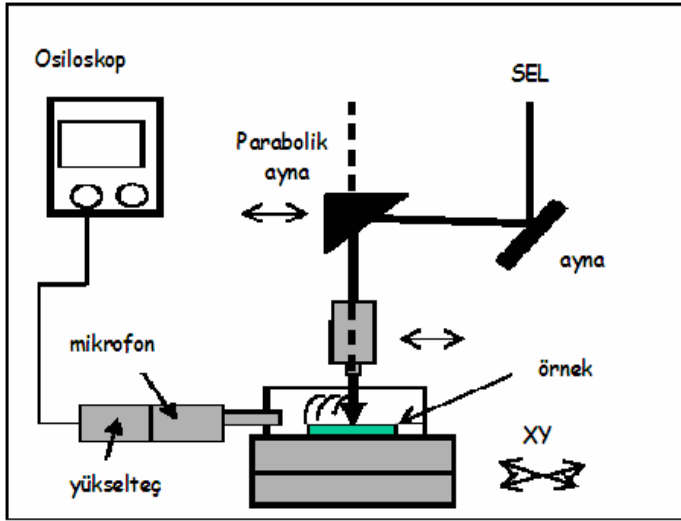
SELDI TOF MS kullanılarak yapılan, hastalık biyo-işaret keşfi, yeni geliştirilen bir yaklaşımdır. Burada MS ve kromatografi birleştirilir. Bu yeni yöntem, protein biyo-işaret tayini, tanımı ve biyomoleküler etkileşimlerin çalışması ve post- çeviriyle ilgili değişimler için kullanılmıştır. Protein çip sistemi en az örnek hazırlama ile çeşitli biyolojik materyallerden protein profilini çıkarmaya olanak sağlar. Yöntem, tanısal

tümör işaretleyicileri olarak proteinleri bulmak için kullanılır. Örneğin; prostat, mesane, göğüs ve yumurtalık kanserleri, bunların yanında ayzaymır hastalığını bulmak, fark etmek gibi... Ayrıca, protein çip dizilimleri, direk olarak dizi üzerinde fosforilasyon yerleşimi, haritalanması ve glikoprotein karakteri için kullanılır. SELDI TOF MS sisteminin, yüksek işlem hacmi yeteneği, diğerlerine oranla çok kısa süre içinde yüzlerce örneğin hastalık biyo-işaret buluşu için görüntülenmesine olanak sağlar. Bu da araştırmacılara hastadan hastaya göre olan değişikliği karşılaştırmak için olanak sağlar. Bu yöntemde radyoaktif izotop kullanımına gerek duyulmaması ve tek ayar ile birçok farklı zaman noktalarında örneklendirilebilir olması tekniğin başlıca avantajıdır [38].

Kütle spektroskopisinde SEL kullanımı pek çok avantajı da beraberinde getirmektedir. SEL'in sahip olduğu yüksek pik gücü, yüksek iyonlaştırıcı özelliğine sahip olmasını ve parçalanmanın artmasını sağlar. Yine, ayarlanabilir olması biyolojik seçiciliği artırır ve yüksek çözünürlük sağlar. SEL'in bu özellikleri göz önünde bulundurularak, SELDI tekniği ile gerçekleştirilen yukarıda saydığımız uygulamaların SEL ile de başarı ile yapılabileceği düşünülmektedir [37].

3.6.6. Kırmızıaltı serbest elektron lazeri ile , foto akustik spektroskopi (SEL-PAS)

KA-SEL'in Foto akustik (PA) sürece uygulanması Foto Akustik Spektroskopi olarak bilinir. Foto Akustik Spektroskopi (PAS), foto akustik sinyalleri KA-SEL ile görüntülemek için tasarlanmış bir tekniktir. SEL-PAS görüntüleme sistemleri, örnek yüzeyinin mikroskobik analizi için kullanışlı bir yöntemdir.



Şekil 3.14. Foto akustik spektroskopi yönteminin şematik gösterimi

PA sinyal, bir dalga boyunda hedef molekülün spektral dalga boyu ile üst üste binen bir modüle lazer demetidir. Şekil 3.14.'de de gösterildiği gibi bu demetle, spektral özelliğe sahip bir hedef molekül, gelen ışımayı soğurarak uyarılır. Uyarılan molekülün çarpışmalarla aktivasyonu artırılarak, soğurulan ışıma enerjisi modülasyon frekansında periyodik lokal ısımaya dönüştürülür. SEL-PAS görüntüleme sistemi, örneğin her bir noktasından kırmızıaltı PA spektrumu alır. Uzaysal çözünürlük, KA-SEL'in kırınım limiti ile sınırlı olup dalga boyuna eşittir. Bu uzaysal çözünürlük PA görüntüleme yapmak için önemli parametrelerden birisidir. Örnekler dalga boyunun soğurma katsayısı ile ilgili PA sinyal büyüklük grafiği oluşturmak için x-y düzleminde taranır. Örnek, PA sinyallerini dedekte etmek üzere bir mikrofona sahiptir ve x-y düzlemine yerleştirilmiştir. Odaklama aynası, eksensiz parabolik bir aynadır ve PA hücresinin üzerindedir. Ölçüm alanının gözlemlenmesinde optiksel mikroskop kullanılır ve örnek parabolik aynalarla ışınlanır. Örnek hareket ettirilebilir ve eş zamanlı olarak da ışınlama noktasındaki PA sinyalleri mikrofon ile dedekte edilir. Sinyal değeri örneğin PAS görüntüsüne dönüştürülür ve sonuçta oluşan akustik dalgalar bir mikrofona görüntülenir [11, 39].

SEL-PAS yöntemi, yarıiletkenlerdeki nokta kusurların ve safsızlıkların, kuantum nokta ve nanokristallerdeki homojen olmayan dağılımların (THz bölgede alt bandlar

arası geçişler vb.), sıvılardaki dinamik değişimlerin yapısının (boyuna ve enine dinamiklerin ölçülmesinde), kısmen düzensiz katılarda (homojen olmayan yayılmış moleküler komplekslerde) dinamik yapıların belirlenmesinde kullanılır.

Foto akustik spektroskopi; Osaka MIR-FEL’de 5–18 μm dalga boyu aralığında kullanılmıştır. 5~18 μm (parmak izi) dalga boyu aralığı çeşitli moleküler yapıların genel soğurma özellikleri ile uyuşmaktadır. Bu yüzden, KA-SEL spesifik moleküler titreşimlerin uyarılması ile ilgili araştırmalarda uygulanabilir. SEL-PAS, çok geniş bir aralıktaki yüksek duyarlıklı örnek çeşitlerinin analizinde eşsiz bir kapasite göstermektedir. SEL-PAS’ın biyomedikal ve yarıiletken araştırmalarda önemli bir yer alması beklenmektedir [11].

Bu yöntem, SEL’ in iki önemli avantajı öne çıkmaktadır. Bunlar IR’ den UV’ ye geniş bir dalga boyu aralığına sahip olması ve bu aralıkta ayarlanabilir olması ile atma sürelerinin çok kısa olmasıdır. Örneğin CO₂ lazerleri çeşitli moleküller tarafından etkili olarak soğurulan ve istenilen dalga boylarının üretimi için çok fazla kullanılan lazerlerdir. Bu lazerlerin 9 ile 11 μm arasında yüksek çıkış gücüne sahiptir. Ancak hedef spektral çizgisinin sadece biri ile uyuşabilirler, çünkü bu lazerler ayarlanabilir lazerler değildir. KA-SEL ise ayarlanabilir lazerler olduğundan hedef molekülün soğurma çizgileri ile mükemmel eşleşir. Bu nedenle SEL-PAS daha hassas bir metottur.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Birçok temel bilim dalındaki araştırmalarda kullanılan modern kırmızıaltı spektroskopide, son yıllarda klasik ışık kaynakları yerine lazerlerin kullanılmaya başlanması ile büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Bu gelişmeler, klasik KA lazerlerde sınırlanmış iken orta ve uzak KA bölgede Serbest Elektron Lazeri kullanımı ile geniş bir uygulama alanına kavuşmuştur. KA-SEL, yüksek odaklanabilme, yüksek akı ve parlaklık, dar bant genişliği ve çok düşük çözünürlük gibi özellikleri ve bu ışını kullanan yeni tekniklerin deneylere uygulanması ile KA spektroskopisi alanında yeni çalışma tekniklerine imkân sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında da KA-SEL ile fizik ve kimya alanlarında gerçekleştirilebilecek bu tekniklerin ve uygulamaların neler olduğu araştırılmıştır.

Kırmızıaltı SEL ile yoğun madde fiziğinde, malzemenin gövde kısmı için, homojen malzemelerin foton enerjilerine ulaşılabilmekte, fononlar, plazmonlar, magnonlar ve ara alt band geçişlerinde gerekli olan tüm temel uyarılmalar yapılabilmektedir.

SEL kullanımı ile katıhal fiziğinde, kuantum kuyularına optik pompalama çalışmaları yapılabilmektedir. SEL, kusurlu modların ve arayüzeydeki bağların araştırılmasını sağlar. Mod-mod etkileşimler, uyarılmış durumların geçiş yollarındaki durulmalar, homojen olmayan malzemeler (kusurlar, gömülü ara yüzler, kuantum noktaları ve yapay olarak yapılanmış süper örgüler) SEL ile çalışılabilir.

Yüzey fiziği uygulamalarında ise yüzeyler üzerine absorplanmış atomlar ve moleküller hakkında daha fazla bilgi ayarlanabilir kızılötesi kaynaklar ile elde edilebilmektedir. Moleküler yapıları ve enerji eşleşmelerinin karakterize edilmesi, yüzey ve arayüzeyde ki elektronik özelliklerin incelenmesi de SEL kullanımı ile gerçekleştirilebilmektedir.

Plazma fiziğindeki SEL uygulamaları, plazma heating (ısıtma) ve plazma diagnostik (analiz) olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Plazma kararsızlıklarını kontrol altına almak için lokalize ısıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır ve bütün bunlar SEL ile

sağlanmaktadır. Diagnostikler ise plazma ile gönderilen dalgaların faz değişimi ölçümünü ya da kritik yoğun bölgelerden gelen dalgaların yansımalarının ölçümünü içerir.

Nanoteknolojinin en önemli konuları, ince filmler ile karbon nanotüplerdir ve SEL ile üretilmektedir. Karbon nanotüpler önemli elektronik ve mekanik özelliklere sahip nano yapılarıdır. Nanotüpler çelikten daha serttir ve plastik kadar esnektir. Enerjiyi ve ısıyı şimdiye kadar keşfedilen tüm maddelere göre daha iyi iletirler. Yoğun madde fiziği, kimya, mühendislik bilimleri, moleküler biyoloji, genetik ve malzeme bilimi gibi pek çok alanda bu teknolojik gelişmeden faydalanılmaktadır.

Serbest elektron lazerleri fotokimya alanında genel olarak; yoğun madde ve gaz-faz fiziği çalışmaları (3–5 μ m), değişik ortamlardaki moleküllerin titreşim dinamiklerinin incelenmesi (3–90 μ m) ve kütle spektroskopisi için iyon oluşturmak gibi araştırma alanlarında kullanılmaktadır

Mod seçici kimya da serbest elektron lazeri ile farklı matrislerdeki organik moleküllerin durulma ve ayrışmaları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Moleküllerdeki titreşimsel enerji transferlerinin incelenmesi yapılan diğer çalışmalardandır.

SEL ile yapılan başka bir çalışma da orta kırmızıaltı bölgede atomların izotoplarına ayrılmasıdır. Örneğin Silisyum (Si) izotopları, yeni elektronik cihazların gelişimi ile ilgili çalışmalara olanak sağlamaktadır.

Bu uygulamaların gerçekleştirilmesinde pek çok teknik kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları, Lazer Depolama İşlemi (PLD), Kırmızıaltı Matris Yardımlı Lazer Desorpsiyon/İyonlaşmalı Kütle Spektroskopisi (IR MALDI MS), Kırmızıaltı Rezonans Artırıcı Çoklu Foton İyonizasyonu (IR REMPI), Kırmızıaltı Matris Yardımlı Atmalı Lazer ile Buharlaştırma (IR MAPLE), Yüzey Etkisi Artırılmış Lazer Desorpsiyon/İyonizasyon Kütle Spektrometresi (SELDI MS), Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazeri ile Fotoakustik Spektroskopisi (SEL-PAS) dir.

Lazer biriktirme yönteminde, lazerin madde ile etkileşmesinden yararlanılır. Bu teknik, pürüzsüz ve kararlı yüzeyler sağlar. İnce film üretiminde sıklıkla kullanılan bir tekniktir.

MALDI-MS, biyomoleküllerin analizi için kullanılan bir tekniktir. Protein, peptit, oligonükleotit, oligosakkarit, ilaçlar, metabolit sistemler ve sentetik polimerlerin analizinde kullanılır. MALDI düşük konsantrasyon ve düşük molekül ağırlıklı proteinlerin yüksek özgüllük ve duyarlılıkta ayırımını ve tayinini sağlar. Yüksek kütle analizi, düşük gürültü, yüksek duyarlılık, az örnek tüketimi, kısa ölçüm zamanı ve minimum parçalanma sağlaması bu yöntemin en büyük avantajlarından.

MAPLE tekniği ise, bir depolama tekniğidir. Bu teknik küçük ve büyük molekül ağırlıklı türleri, özellikle polimer ve biyomalzemeleri yoğun fazdan buhar fazına aktarmak için geliştirilmiş tahribatsız bir mekanizmaya sahiptir.

REMPI tekniğinde, SEL'in ayarlanabilirliğinden, mikro saniye ölçeğindeki etkisinden ve yüksek enerjisinden faydalanır. IR-REMPI deneyleri ile, içi boş küre şeklinde karbon moleküllerini, biyomolekülleri, gaz fazındaki kümeleri ve kompleksleri araştırmak mümkündür.

SELDI ise, protein karışımlarında kütle spektrometresi analizi için kullanılan bir iyonizasyon yöntemidir. Ön işlem gerektirmeksizin minimal miktarda biyolojik sıvı ile klasik katı faz ekstraksiyon kromatografisinin direkt lazer desorpsiyon iyonizasyon kütle spektrofotometrik ölçümü ile kombine edilmesi temeline dayanmaktadır.

KA-SEL'in Foto akustik (PA) sürece uygulanması Foto Akustik Spektroskopi olarak tanımlanır. Foto Akustik Spektroskopi (PAS), foto akustik sinyalleri KA-SEL ile görüntülemek için tasarlanmış bir tekniktir. SEL-PAS görüntüleme sistemleri, örnek yüzeyinin mikroskobik analizi için kullanışlı bir yöntemdir.

KAYNAKLAR

1. Sultansoy, S., ” Hızlandırıcı Teknolojileri ve Uygulamaları Merkezi veya (Japonya’da olduğu gibi) Kurumu ”, **Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulama Kongresi II (UPHUK II)**, Bodrum, 1–7 (2008).
2. 16. E. Nishimura et al., “Nuclear Instruments and Methods ” **Physics Research**”, 39 (1994).
3. Yavaş, Ö., “ Parçacık Hızlandırıcıları: Türkiye’de Neler Yapılmalı”, **Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) 1997K–120420 No.lu Proje Sonucu Raporu**, 1-3 (2000).
4. Marshall, T. C., “Free-Electron Lasers”, **Macmillan**, New York, 19-24 (1985).
5. Brau, C. A., “ Free-Electron Lasers”, **Academic Press**, San Diego, 1-5 (1990).
6. Karşı, Ö., “ Hızlandırıcılara Dayalı Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazeri IR SEL Optimizasyonu ”, Yüksek Lisans Tezi, **Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 8,29,37–39,82,86 (2006).
7. Patrick G. And Henry P. F., “ Free – Electron Lasers: Status and Applications” **Science Compass**, Washington, 117–121 (2001).
8. Krishnagopal S., Kumar V., Maiti S., Prabhu S.S. and Sarkar S.K., “Free-electron Lasers”, **Current Science**, 1066–1077 (2004).
9. İnternet: Türk Hızlandırıcı Merkezi Fizibilite “ Sinkrotron Işınımı ve Serbest Elektron Lazeri Üretimi ve Kullanımı İçin Genel Tasarım ” **DPT 2003K–1201906-5 Nolu Proje Sonucu Raporu**”, Ankara, 21-25 (2006).
10. İnternet: NASA , “Elektromagnetik Spektrum”
<http://science.hq.nasa.gov/kids/imagers/ems/index.html> (2010).
11. Tural, M., “ Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerlerinin Temel ve Uygulamalı Araştırmalarda Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara 8,34,43 (2008).
12. Özbay, A., “Bazı Bileşiklerin Kırmızıaltı ve Raman Spektroskopisi ile Titreşim Frekans ve Kiplerinin Saptanması ”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 4-12 (1995) .
13. Pellegrini,C., “ Free Electron Lasers Development and Applications”, **Particle Accelerators**, 160-1850 (1990).

14. Dana D. D. and Michael D. F., “ Applications of Infrared Free - Electron Lasers Basic Research on the Dynamics of Molecular Systems ”, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 2697-2712 (1991).
15. Billardon, M., “First operation of a storage ring free electron laser”, *In Free-Electron Generators of Coherent Radiation*, Bellingham, 457 (1984).
16. Dana D. Dlott and Michael D. Fayer., “Applications of Infrared Free-Electron Lasers”, *Basic Research on the Dynamics of Molecular Systems*, 12-27 (1991).
17. Altan, H., “ IR-SEL ve THz Uygulamaları”, *Türk Hızlandırıcı Merkezi İkinci Arama Konferansı*, Ankara Üniversitesi, 16 (2010).
18. Inouye, Y., “Near-Field Vibrational Spectroscopy”, *Feature Article*, 9 (2007).
19. Couprie, M. E., and Ortéga J.M. “Free electron lasers sources for scientific Applications”, *EDP Sciences*, 725-736 (2000).
20. 16. E. Nishimura et al., “Nuclear Instruments and Methods” *Physics Research*”, 39 (1994).
21. Simon, J. D., Crowell J. E., and Weare , J. H., “Material applications of the far-infrared free-electron laser”, *Optical Society*, America, 103-107 (1989).
22. Neil, G. R., “ Thomas Jefferson National Accelerator Facility FEL Industria Applications”, *Thomas Jefferson National Accelerator Facility*, Newport News USA, 181-185 (1998).
23. Çıracı, S., “ Ulusal Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (UNAM)” *Bilim Teknik Dergisi*, 2-4. (2006).
24. Kubarev, V., Knyazev, B., Kulipanov, G., Miginsky, S., Popik, V. and Vinokurov, N., “Free Electron Lasers For Nanotechnology and Nanodiagnostic ”, *Budker Institute of Nuclear Physics*, Russia, 328-341 (2006).
25. Newnam, B. E., Early, J. W., and Lyman J.L., “ Infrared FEL photochemistry: Multiple-photon dissociation of Freongas”, Master Thesis, *Los Alamos National Laboratory*, USA, 112-114 (1993).
26. Keiji , N ., Chernyshevc , A . V., Alexander , K. P., Kuroda , H. “ Novel process of isotope separation of silicon by use of IR FEL”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, Rusya, 7-9 (2003).
27. Bubb, M., Horwitz, J.S., Callahan, J.H., Mc Gill, R.A., Houser, E.J. and Chrisey, D.B., “ Resonant IR pulsed laser deposition of polymer films using free electron laser”, *J. Vac. Sci. Technol*, 676- 679 (2001).

28. Andrei , R ., Anna , M ., Catalin , C., Nicu , S .,Dumitru , A., Michal , S ., Petre, R.,Valentin , I ., Cristina, V.,Barbara , B ., Maria, D., “CdS thin films obtained by thermal treatment of cadmium (II) complex precursor deposited by MAPLE technique”, *Applied Surface Science*, 6786- 6789 (2009).
29. Çırak , M ., “ Genomik ve Proteomik Çalışmalarda Kullanılan Yöntemler ”, **6. Ulusal ve Tanısal Moleküler Mikrobiyoloji Kongresi**, 15-19 (2010).
30. Çobanoğlu , C., “ Protein Tanımlanmasında MALDI TOF Kütle Spektrometre Yöntemi ”, **6. Ulusal ve Tanısal Moleküler Mikrobiyoloji Kongresi** , 18-24 (2010).
31. Wayne , P., Hee , K ., Yavas , O ., Haglund , J., “ IR – MALDI of low molecular weight compounds using a free electron laser”, *Applied Surface Science*, 231-245 (1998).
32. Andreas, R ., Johannes, M., Gottfried, P., Ute, D., Jasna, P., Stefan, B., Klaus, D., “IR-MALDI-MS Analysis of HPTLC-Separated Phospholipid Mixtures Directly from the TLC Plate”, *Institute of Medical Physics and Biophysics*, 5793-5838 (2007).
33. Constantinescu , C., Scarisorean , N., Moldovan , A ., Dinescu , M., Vasiliu, C., “Thin films of polyaniline deposited by MAPLE technique”, *Applied Surface Science* 7711-7714 (2007).
34. Bloisi , F., Vicar i, L., Papa , R., Califano , V ., Pedrazzani , R., Bontempi, E., Depero, L., “ Biomaterial thin film deposition and characterization by means of MAPLE technique” *Materials Science*, 1185-1190 (2007).
35. Edwards, G., Allen, S., Haglund, R., Nemanich, R., Redlich, B., Simon, J., Yang, W., “Applications of Free Electron Lasers in the Biological and Material Sciences”, *Invited Review*, 711-735 (2005).
36. Ni r, M ., Muller , M., Grace , L., Vries, M., “REMPI spectroscopy of cytosine”, *Chemical Physics Letters*, 59-64 (2002).
37. Malyarenko , D., Manos, D., Trosset, M., Tracy, G., Chen, H., Haris, P., Hopkins C., “ Proteomics Using Mass Spectroscopy Can the FEL Help?”, *Incogen*, 2-18 (2009).
38. Yasumoto , M., Ogawa , H., Sei, N ., Yamada , K., “Photo Acoustic Spectroscopy with Infrared Fel”, *Proceedings of the 2004 FEL Conference*, 703-705 (2004).
39. Arıkan,P. , “Proposed Experimental Station and User Potential”, *IMAC First Meeting, Ankara University*, 7-33 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KONAKÇI Özden
 Uyuğu : T.C
 Doğum Tarihi ve Yeri : 25.02.1985-Ankara
 Medeni Hali : Bekar
 Telefon : 05382254477
 e-mail : ozdenkonakci@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi / Fizik	2007
Lise	Atatürk Anadolu Lisesi	2003

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar:

1. Konakçı, Ö. “ Türk Hızlandırıcı Merkezi Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Fizik ve Kimya Uygulamaları”, *VIII. THM YUUP Çalıştay, Gazi Üniversitesi Ankara*, 5–7 Aralık 2009.
2. Konakçı, Ö., Yılmaz, M. “ Türk Hızlandırıcı Merkezi Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Fizik ve Kimya Uygulamaları” *IV. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi (UPHUK), Bodrum, Muğla* 2–7 Eylül 2010.