

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KIRMIZIALTI SERBEST ELEKTRON LAZERLERİNİN TEMEL VE
UYGULAMALI ARAŞTIRMALARDA KULLANIMI**

Müge TURAL

FİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2008**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Müge Tural tarafından hazırlanan “**Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerlerinin Temel ve Uygulamalı Araştırmalarda Kullanımı**” adlı tez çalışması 03 / 07 / 2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ömer YAVAŞ

Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof.Dr. Pervin ARIKAN,

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Çelik TARIMCI,

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof. Dr. Ömer YAVAŞ,

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof.Dr.Orhan ATAKOL

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KIRMIZIALTI SERBEST ELEKTRON LAZERLERİNİN TEMEL VE UYGULAMALI ARAŞTIRMALARDA KULLANIMI

Müge TURAL

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ömer YAVAŞ

Bu çalışmada kırmızıaltı serbest elektron lazerinin (IR-SEL) çalışma prensibi genel olarak tanımlandıktan sonra temel ve uygulamalı bilimlerdeki araştırma ve uygulama potansiyeli ve uygulama yöntemleri incelenmiştir. Bu kapsamda, Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) desteği ile kurum çalışmaları sürdürülen Türk Hızlandırıcı Merkezi Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazeri (THM IR SEL) tesisinin araştırma potansiyeli ve burada kullanılması düşünülen yöntemler hakkında araştırma yapılmıştır.

Kırmızıaltı bölgede dalgaboyuna sahip SEL' in (IR SEL) malzeme bilimi, biyoteknoloji, nanoteknoloji ve fotokimya alanlarında uygulama potansiyeli araştırılmıştır. Dünyadaki önemli IR-SEL laboratuvarları olan iFEL (Japonya), CLIO (Fransa), ELBE (Almanya), FEL-SUT (Japonya), Vanderbilt (ABD), FELIX (Hollanda) ve JLab (ABD) IR SEL laboratuvarlarının uygulama alanları incelenerek, THM IR SEL laboratuvarının deney istasyonlarının genel yapısı ve 2-185 mikron arası IR SEL'in için olası uygulama alanları ve kullanım teknikleri detaylıca araştırılmıştır.

Temmuz 2008, 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: THM Projesi, Serbest Elektron Lazeri (SEL), Osilatör SEL, Kırmızıaltı, Mikroskopi, Spektroskopi

ABSTRACT

Master Thesis

THE USE OF THE INFRARED FREE ELECTRON LASER IN BASIC AND APPLIED SCIENCES

Müge TURAL

Ankara University
Graduate School of Natural Applied Sciences
Department of Physics Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Ömer YAVAŞ

In this study, the physics, and applications of IR FEL in basic and applied sciences for research and development are investigated. In this frame, the main parameters and research potential of Turkish Accelerator Center Infrared Free Electron Laser Facility (TAC IR FEL) are described that is a project ongoing under the coordination of Ankara University with support of State Planning Organization (SPO) of Turkey since 2006.

Application potential with different methods of IR FEL in semiconductors, material science, photochemistry, biology and nanotechnology are given. To describe the research potential of TAC IR FEL Facility, typical applications in well known IR FEL laboratories from the world like iFEL (Japan), CLIO (France), ELBE (Germany), FEL-SUT (Japan), Vanderbilt (USA), FELIX (Netherland) and JLab (USA), are considered. As a result, the structure of experimental stations and considered techniques are explained for TAC IR FEL Facility that will cover 2-185 microns wavelengths.

July 2008, 66 pages

Key Words: TAC Project, Free electron laser, Oscillator FEL, Infrared, Microscopy, Spectroscopy

TEŞEKKÜR

Bu çalışmam sırasında; araştırmalarımda yaptığı öneriler ve bilimsel öngörülerini ile destekte bulunan danışmanım Sayın Prof. Dr. Ömer YAVAŞ'a (Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği), her türlü yardımını ve desteğini aldığım Sayın Prof. Dr. Pervin ARIKAN' a (Gazi Üniversitesi, Fen-edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü) ve Sayın Prof. Dr. elik TARIMCI' ya (Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği) ve her zaman yanımda olup, desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Bu alışma "Türk Hızlandırıcı Merkezi Teknik Tasarımı ve Test Laboratuvarı (DPT2006K-120470)" konulu proje tarafından desteklenmiştir.

Müğe Tural
Ankara, Temmuz 2008

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1 Giriş.....	3
2.2 Elektromanyetik Spektrum ve Kırmızıaltı Bölge.....	4
2.3 Serbest Elektron Lazeri.....	7
2.4 Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Avantajları.....	9
2.5 Dünyadaki Kırmızıaltı SEL Laboratuvarları.....	10
2.5.1 CLIO SEL laboratuvarı (Orsay, Fransa).....	10
2.5.2 ELBE SEL laboratuvarı (Dresden, Almanya).....	14
2.5.3 iFEL SEL laboratuvarı (Osaka, Japonya).....	17
2.5.4 FELIX SEL laboratuvarı (Nieuwegein, Hollanda).....	21
2.5.5 Vanderbilt SEL laboratuvarı (Nashville, Amerika).....	24
2.5.6 FEL- SUT SEL laboratuvarı (Tokyo, Japonya).....	25
2.5.7 Jefferson SEL laboratuvarı (Amerika).....	29
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	32
3.1 Materyal.....	32
3.2 Yöntem.....	32
4. BULGULAR.....	34
4.1 Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Kullanım Alanları.....	34
4.1.1 Kırmızıaltı SEL' in endüstriyel alanda uygulamaları.....	34
4.1.2 Kırmızıaltı SEL' in araştırma alanında uygulamaları.....	37
4.1.2.1 Kırmızıaltı SEL' in biyomedikal ve biyoteknoloji uygulamaları.....	37
4.1.2.2 Kırmızıaltı SEL' in fotokimya uygulamaları.....	42
4.1.2.3 Kırmızıaltı SEL' in malzeme ve nanoteknoloji uygulamaları.....	43

4.2 THM IR-SEL' in Uygulama Potansiyeli.....	44
4.2.1 Deney istasyonlarının yapısı.....	46
4.2.2 Kırmızıaltı spektroskopisi laboratuvarı I	46
4.2.2.1 FT-IR spektroskopisi.....	48
4.2.2.2 Kırmızıaltı Raman spektroskopisi.....	51
4.2.3 Kırmızıaltı spektroskopisi laboratuvarı II	54
4.2.3.1 Toplam frekans tekniği (SFG).....	54
4.2.3.2 Pompa- sonda (Pump- Probe) deneyleri.....	56
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	58
KAYNAKLAR.....	60
EK 1 THM-KA SEL Laboratuvarının zemin kat planı.....	64
EK 2 THM-KA SEL Laboratuvarının 1. kat planı.....	65
ÖZEÇMİŞ.....	66

KISALTMALAR DİZİNİ

AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
AOM	Akusto Optiksel Modülator
BESSY	Berlin Sinkrotron Işınım Laboratuvarı
CERN	Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
ELBE	Electron Linear accelerator of high Brilliance and low Emittance
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
FT/IR	Fourier Transform Infrared Spektroskopisi
KA-SEL	Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazeri
MPD-ICR	Multifoton Dağılımı İon-Siklotron Rezonans Kütle Spektrometresi
SASE	Kendiliğinden Genlik Artımlı Yayınım
SFG	Toplam Frekans Oluşumu
TAC	Turkish Accelerator Center
THM	Türk Hızlandırıcı Merkezi
THM KA-SEL	Türk Hızlandırıcı Merkezi Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazeri
UV	Ultraviyole
YUUP	Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslar Arası Proje

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Elektromanyetik spektrum.....	5
Şekil 2.2 Serbest elektron lazerinin oluşumunun şematik görünümü.....	7
Şekil 2.3 CLIO SEL' in şematik görünümü.....	11
Şekil 2.4 CLIO SEL' den iki salındırıcı ile elde edilen ışınımın görünümü.....	11
Şekil 2.5 ELBE laboratuvar binasının şematik görünümü.....	15
Şekil 2.6 iFEL' in şematik görünümü.....	18
Şekil 2.7 iFEL laboratuvarının şematik görünümü.....	19
Şekil 2.8 FELIX SEL' in şematik görünümü.....	21
Şekil 2.9 FELIX laboratuvarının şematik görünümü.....	22
Şekil 2.10 Hızlandırıcı odasının fotoğrafı.....	26
Şekil 2.11 FEL- SUT SEL Merkezinin planı.....	27
Şekil 2.12 Jefferson SEL' in şematik görünümü.....	29
Şekil 4.1 Yüzeyi SEL ile pürüzlendirilmiş polyster kumaş.....	35
Şekil 4.2 Deneme amaçlı üretilen numunelerin resimleri.....	37
Şekil 4.3 Kanserli dokunun kesilip çıkarılması.....	38
Şekil 4.4 SEL ışınımına maruz kalan beyin tümörünün MR ile görüntüsü.....	39
Şekil 4.5 5.75 µm SEL ile ışınlanmış kolesterol ve albümin.....	41
Şekil 4.6 İnsan atardamarının soğurma spektrumu.....	41
Şekil 4.7 THM KA-SEL' de şematik görünümü.....	45
Şekil 4.8 Molekül titreşimleri.....	47
Şekil 4.9 KA spektroskopisi sistemi.....	48
Şekil 4.10 FT- IR spektroskopisinin şematik görünümü.....	50
Şekil 4.11 Raman spektroskopisinin şematik görünümü.....	52
Şekil 4.12 Raman spektroskopisi deney düzeneği.....	53
Şekil 4.13 SFG tekniğinin şematik görünümü.....	57
Şekil 4.14 Pompa- sonda deney düzeneği.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Elektromanyetik Spektrumun dalgaboyu, frekans ve enerji aralığı.....	5
Çizelge 2.2 Geleneksel lazerler ile SEL' in karşılaştırılması.....	10
Çizelge 2.3 CLIO Laboratuvarının elektron demeti ve salındırıcı parametreleri.....	12
Çizelge 2.4 CLIO serbest elektron lazeri parametreleri.....	12
Çizelge 2.5 ELBE elektron demeti ve salındırıcı parametreleri.....	14
Çizelge 2.6 ELBE FEL parametreleri.....	14
Çizelge 2.7 iFEL Laboratuvarının parametreleri.....	19
Çizelge 2.8 iFEL MIR- serbest elektron lazeri parametreleri.....	19
Çizelge 2.9 FELIX Laboratuvarının elektron demeti ve salındırıcı parametreleri.....	21
Çizelge 2.10 FELIX serbest elektron lazeri parametreleri.....	22
Çizelge 2.11 Vanderbilt Laboratuvarının elektron demeti ve salındırıcı parametreleri.....	24
Çizelge 2.12 Vanderbilt serbest elektron lazeri parametreleri.....	24
Çizelge 2.13 FEL-SUT laboratuvarının elektron demeti ve salındırıcı parametreleri.....	26
Çizelge 2.14 FEL-SUT serbest elektron lazeri parametreleri.....	26
Çizelge 2.15 Jefferson Laboratuvarının elektron demeti ve salındırıcı parametreleri.....	30
Çizelge 2.16 Jefferson serbest elektron lazeri parametreleri.....	30
Çizelge 4.1 THM IR- SEL elektron demeti parametreleri.....	45
Çizelge 4.2 THM IR- SEL lazer demeti parametreleri.....	45

1. GİRİŞ

Parçacık hızlandırıcı teknolojileri 21. yüzyılın jenerik teknolojiler arasında yer almaktadır. Günümüzde dünyada 15000 civarında parçacık hızlandırıcısı mevcuttur. Günümüzde hızlandırıcılara dayalı ışınım kaynakları kullandıkları donanım ve elde edilen demetin özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Dairesel hızlandırıcılarda ortaya çıkan parazitik ışınım birinci nesil ve sadece eğici magnetlerden elde edilen ışınım ikinci nesil ışınım kaynakları olarak bilinirler. Üçüncü nesil ışınım kaynakları ise eğici magnetlerin yanı sıra salındırıcı ve zigzaglayıcı magnetlerin kullanıldığı halka tipli ışınım kaynaklarıdır. Bu tip ışınım kaynakları sinkrotron ışınımı olarak adlandırılır. Son zamanlarda; doğrusal hızlandırıcılarda hızlandırılarak görelî hale getirilen elektron demetinin salındırıcı magnetlerle yüksek akı, parlaklık değerlerine sahip, tek dalgabylu ve eş fazlı ışınım elde edilmesi ilkesine dayalı ışınım kaynakları yaygınlaşmaktadır. Serbest Elektron Lazeri olarak adlandırılan bu ışınım kaynakları dördüncü nesil ışınım kaynaklarıdır. Bu kaynaklar kullanılarak milimetreden sert X-ışını bölgesine kadar spektral bölgeyi kapsayan ışınım elde edilmektedir.

Parçacık hızlandırıcılarının genel kullanım alanları aşağıda verilmiştir (Fizibilite Raporu 2000):

- Temel parçacık fiziği ve nükleer fizik deneyleri
- Malzeme fiziği
- Yüzey fiziği
- Petrol ve gaz yataklarının aranması, çevre atıklarının etkisiz hale getirilmesi
- Gıda sterilizasyonu
- İzotop üretimi
- Nükleer atıkların temizlenmesi
- Baca gazlarının temizlenmesi
- Mikrospektroskopi

Dünyada 3. ve 4. nesil ışınım kaynağı laboratuvarlarının sayısı yüzün üzerinde iken ve birçok proje devam ederken ülkemizde henüz inşa edilmiş hızlandırıcıya dayalı bir

ışınım kaynağı laboratuvarı bulunmamaktadır. Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından desteklenen, Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde toplam 10 üniversitenin iştiraki ile yürütülen YUUP (Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslararası Proje) projesi kapsamında kurulması planlanan Türk Hızlandırıcı Merkezi Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazeri (THM KA-SEL) laboratuvarı hızlandırıcıya dayalı ışınım kaynağı olarak ülkemizde bir ilk olacaktır. Bu laboratuvar ülkemizde özellikle malzeme bilimi, nanoteknoloji, foto-kimya, yarı iletken yapılar, lineer olmayan optik, atom ve molekül fiziği, yüzey ve ara yüzey fiziği, lazer optiği, biyoloji, biyomedikal ve biyoteknoloji gibi pek çok alanda çalışan araştırmacılar için ve bu alanlarda ürün geliştiren sanayi çevreleri için modern bir araştırma ve geliştirme ortamı sağlayacaktır (<http://thm.ankara.edu.tr>, 2007).

Bu çalışmada; Türkiye’ de kurulması planlanan KA-SEL’ den elde edilecek kırmızıaltı bölgede 2- 185 µm dalgaboyu aralığında ışınımın temel ve uygulamalı bilimlerde kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Elde edilecek olan ışınımın özellikleri göz önüne alınarak dünyadaki benzer laboratuvarların uygulama alanları incelenmiştir. iFEL, JAERI, FEL-SUT (Japonya), FELBE, IR FEL Darmstadt (Almanya), FELIX (Hollanda), CLIO (Fransa), Jefferson IR FEL gibi KA SEL laboratuvarlarında yapılan araştırmalar incelenerek THM KA SEL laboratuvarı için olası araştırma potansiyeli tanımlanmıştır. Bu laboratuvarlarda kullanılan tekniklerden bazıları SEL’in avantajları, teknikler için kullanılan donanımlar ve bu tekniklerin uygulama alanları araştırılmıştır.

Son olarak Türkiye’ de kurulacak olan Serbest Elektron Lazerin’ de tasarlanan deney istasyonlarında yapılması öngörülen uygulamalar belirlenmiştir. Uygulamalardan spektroskopi ve mikroskopi uygulamaları ön plana çıkarılarak, bu uygulamalar genel hatlarıyla incelenmiştir. Çalışmada dünyadaki benzer laboratuvarların spektroskopi ve mikroskopi uygulamaları araştırılarak, bu uygulamalarda kullanılan teknikler ve yöntemler araştırılmıştır. Araştırmaların ışığı altında THM KA-SEL’ de kurulması planlanan yedi deney istasyonunun üçünde uygulanacak teknikler belirlenmiştir. Uygulanacak tekniklerde gereksinim duyulan donanım ve teçhizatlar genel hatlarıyla belirlenmeye çalışılmış ve bu tekniklerin bilimsel ve endüstriyel alanda uygulamaları araştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Giriş

Günümüzde geleneksel lazerler ile elektromanyetik spektrumun kırmızıaltı bölgesinden morötesi bölgeye kadar geniş aralığı taranmaktadır. Ancak bu lazerlerle uzak kırmızıaltı bölge denilen 30 μm ile 1 mm' lik bölge ile 10 nm' nin altında yer alan X-ışını bölgesine ulaşamamaktadır. Bu durum bu bölgeyi de içine alabilecek, yüksek enerjili, eş fazlı yeni ışınım kaynağı arayışını doğurmuştur.

Serbest Elektron Lazeri, atomik ve moleküler sistemlerde bağı olmayan elektronun kullanıldığı yeni tip lazer türlerindedir. Bu sistemde elektron tabancasından elde edilen elektronlar, lineer hızlandırıcılar (linak) veya sinkrotron gibi elektron hızlandırıcılar aracılığı 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. Elde edilen serbest elektron lazeri, sürekli ve ayarlanabilir bir dalgaboyuna sahip olup, femtosaniye ve pikosaniye mertebesinde atmalar üretir ve bu lazerlerin pik güçleri oldukça yüksektir (Wilson 2001).

SEL' in bulunması 1933' lere Kapita ve Dirac' ın, Thomas ve Compton saçılmalarını uygulamaya geçirme çalışmalarına dayanmaktadır. Stanford' da Hans Motz 1951' de hızlı bir elektron demetinin ard arda dizilmiş elektrik ve manyetik alanlardan geçerken ışınım yaydığını deneysel ve teorik olarak kanıtlamıştır. Bu çalışma, lazerlerin dayandığı salındırıcıların tasarlamasında ilk adım olmuştur. SEL' in tasarımı ise ilk olarak 1970' da yine Stanford' da John Madey tarafından yapılmıştır. SEL ile yapılan ilk deney 1976' da lineer hızlandırıcıdan alınan bir elektron demetinin kullanılması ile yapılan deney olmuştur. Stanford' da SEL' den elde edilen kırmızıaltı ışınım ile başarılı iki deney yapılmıştır (Wille 1996).

Dünyada pek çok kurulmuş veya kurulması planlanan SEL tesisi bulunmaktadır. Bunlardan çalışır durumda olanları, yaklaşık olarak yılda 2000 saat gibi oldukça uzun bir çalışma süresine sahiptir. Bu tesislerin pek çoğu kırmızıaltı bölgede ışınım elde etmektedir. Elde edilen demetin birkaç piko saniye mertebesinde kısa atmalara sahip olması, dalga boyunun geniş bir spektrumda ayarlanabilir olması, pik gücünün 1-100 MW düzeyinde 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 uygulama alanında bu tip lazerlere duyulan gereksinim arttırmaktadır (Neil 2003).

2.2 Elektromanyetik Spektrum ve Kırmızıaltı Bölge

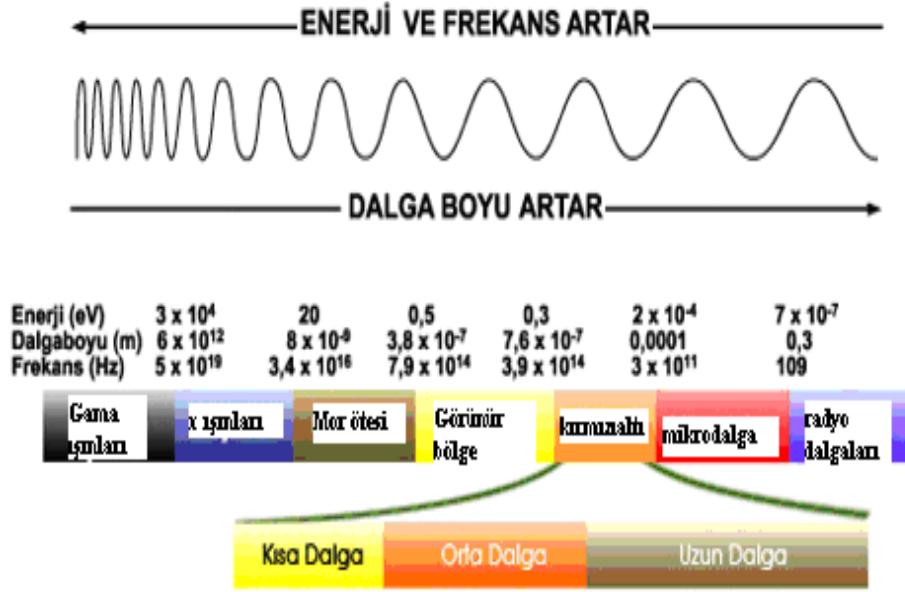
Elektromanyetik spektrum, elektromanyetik ışınımın enerjisine veya eşdeğer olarak frekansına veya dalga boyuna göre dağılımıdır. Yani herhangi bir renk ya da dalgaboyu özel bir frekans ve enerji miktarına sahiptir. Spektrumda yer alan ışınımın enerjisinin artış yönüne göre; radyo dalgaları, mikro dalgalar, kırmızıaltı bölge, görünür bölge, morötesi bölge, x- ışınları ve gama ışınları olarak gruplandırılırlar.

Spektrumdaki ışınımın enerjileri dalga boylarına bağlı olarak Denklem 2.1' de verildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

Burada h Planck sabiti, c ışık hızı ve λ ışınımın dalga boyudur.

Spektrumda ışınım, 3×10^9 Hz den daha küçük frekansa sahip radyo dalgaları olarak adlandırılan ışınım ile atomların çekirdeklerinin yarıçaplarından daha kısa dalga boyuna sahip gama dalgaları arasında yer almaktadır. Şekil 2.1' de bu ışınımın dalga boyları, frekansları ve enerjileri ifade edilmektedir. Gamma ışınlarından radyo dalgalarına doğru enerji ve frekanslar artmakta, dalga boyu ise azalmaktadır.



Şekil 2.1 Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik spektrumun seçilmiş bölgeleri için yaklaşık dalga boyları, frekansları ve enerjileri Çizelge 2.1’ de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Elektromanyetik Spektrumun dalga boyu, frekans ve enerji aralığı

Bölge	Dalga boyu (mikrometre)	Frekans (Hz)	Enerji (eV)
Radyo	$> 10^6$	$< 3 \times 10^9$	$< 10^{-5}$
Mikro dalga	$10^3 - 10^6$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$10^{-5} - 0.01$
Kırmızıaltı	$1 - 10^3$	$3 \times 10^{12} - 4.3 \times 10^{14}$	$0.01 - 2$
Görünür	$0.4 - 1$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$2 - 3$
Mor ötesi	$1 - 10^{-2}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	$3 - 10^3$
X-ışınları	$10^{-2} - 10^{-4}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Gama ışınları	$< 10^{-4}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 10^5$

Spektrumun $1 \mu\text{m}$ ile $1000 \mu\text{m}$ arasında dalga boyuna sahip bölgesi kırmızıaltı bölge olarak adlandırılır. Bu aralığın enerjisi görünür ışınının enerjisinden az, mikrodalga

ışınımın enerjisinden fazladır. Mutlak sıcaklığın (0 Kelvin) üzerindeki bütün maddeler kırmızıaltı ışınım salar.

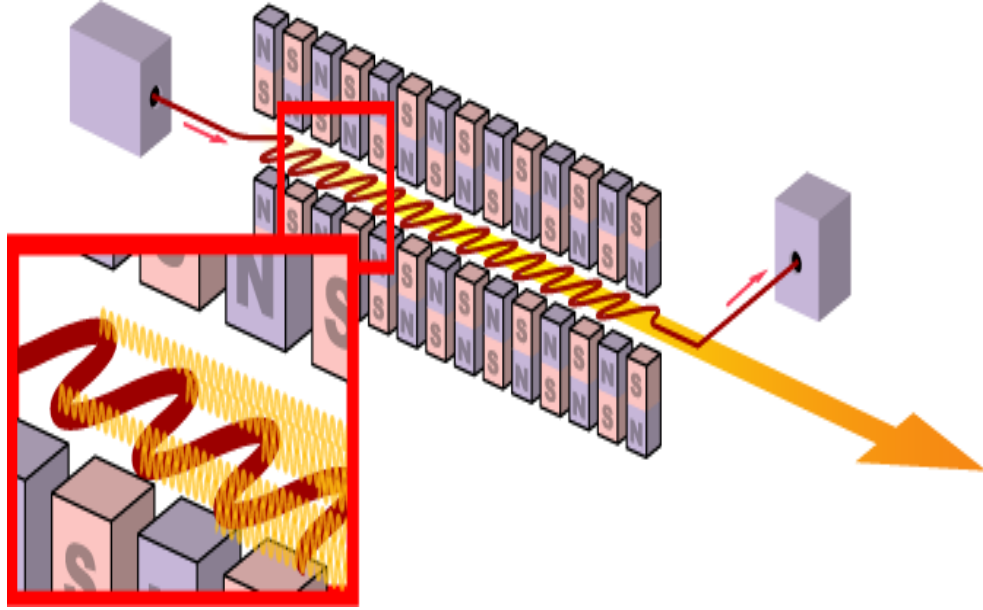
Kırmızıaltı aralığını üç bölgede ele alabiliriz. Bu bölgeler yakın kırmızıaltı bölgesi, orta kırmızıaltı bölgesi ve uzak kırmızıaltı bölgesidir. Yakın kırmızıaltı bölgesi 1- 2.5 μm arasındaki bölgedir. Bu bölgede kimyasal bağ boyunca atomların titreşim hareketleri incelenebilir. Temel titreşimlerin yanında bunların katlarını yani üst ton titreşimlerini de incelemektedir. Reaksiyon izlemede kullanılabilir. Orta kırmızıaltı bölge 2.5- 50 μm arasındaki bölgedir. Bu bölge titreşim spektroskopisinde en yoğun kullanılan bölgedir. Parmak izi bölgesi olarak isimlendirildiğinden çok geniş bir kullanım alanı vardır. Uzak kırmızıaltı bölge ise ışınım enerjisinin en düşük olduğu bölgedir. 50- 1000 μm arasında dalga boyuna sahiptir. Bu bölge metal-metal veya ligant-metal gibi ağır atom içeren moleküllerin titreşimlerinin gözlenebildiği bölgedir. Moleküllerin saf dönme enerjileri de bu bölgede çalışılır (Spektral Analiz Yöntemleri Ders Notları 2005).

Kırmızıaltı ışınım günümüzde pek çok araştırmalarda ihtiyaç duyulan bir ışınım aralığıdır. KA spektroskopisi ve mikroskopisi uzun yıllardır pek çok araştırmaların yapıldığı geniş bir alandır. Spektroskopi, maddenin elektromanyetik radyasyonla etkileşmesi ile oluşan soğurma, saçılma veya yayınımları kullanarak madde hakkında bilgi veren deneysel metodun adıdır. Bu metotta kırmızıaltı ışınımın kaynağı olarak SEL' in kullanımı yapılan çalışmalara oldukça büyük katkılar sağlamaktadır.

Spektrumda, 10^{-2} – 10^{-4} μm arasında yer alan bölge X- ışınlar olarak adlandırılır. X- ışınımının en küçük dalgaboyu atom boyutundadır. Medikal alanda bu ışınımın kullanım potansiyeli fazladır. En yaygın olarak tıpta ve dişçilikte tanı aracı olarak kullanılmaktadır. 1 – 10^{-2} mikron arası bölge ise morötesi bölge olarak adlandırılır. En önemli mor ötesi ışınım kaynağı güneştir. Günümüzde, Serbest elektron Lazeri ve sinkrotron tipi hızlandırıcılar ile bu bölgede ışınım elde eden laboratuvarlar mevcuttur. X- ışını spektroskopisi, plazma fiziği, Compton saçılmaları, katıhal fiziği ve yüzey fiziği gibi birçok araştırma alanında bu ışınım kaynakları kullanılmaktadır (Winick 1994).

2.3 Serbest Elektron Lazeri

Serbest Elektron Lazerleri; elektron hızlandırıcıları, salındırıcı magnetler ve optik kaviteler olmak üzere temelde üç ana parçadan oluşmaktadır. Şekil 2.2' de bir serbest elektron lazerinin oluşumunun şematik görünümü verilmektedir.



Şekil 2.2 Serbest elektron lazerinin oluşumun şematik görünümü (Wiedemann 2003)

Bir elektron kaynağından sökülen elektronlar, elektron hızlandırıcıları ile rölativistik hızlara ulaştırılır. MeV ila GeV mertebesine hızlandırılan bu elektronlar salındırıcılardan geçerler. Salındırıcılar manyetik alan oluşumunu sağlamak için kullanılan magnetlerdir. Göreli elektron, salındırıcıdan geçerken bu magnetlerin oluşturduğu sinüsel enine manyetik alana maruz kalırlar. Oluşan bu sinüsel manyetik alanın genliği B_u ile ifade edilir ve genelde kG mertebesindedir. Salındırıcının periyodu (λ_u) ise tipik olarak birkaç santimetredir. Salındırıcı tarafından elektronun hareket doğrultusuna dik olarak ivmelendirilen elektron demeti salındırıcı manyetik alanına tepki olarak foton salar. Her bir salındırıcı periyodunda salınan fotonlar bir foton bulutu (paketi) oluşturur ve elektron demeti salındırıcının sonuna kadar bu foton paketi içerisinde salındırıcı manyetik alanından olayı zig-zag yaparak ilerler. Foton bulutunun ve salındırıcının elektromanyetik alanı elektron paketçisinde mikropaketleme etkisi yapar. Mikropaketlenmiş elektron paketçisi eş fazlı foton paketçisinin yoğunluğunu

arttırır. Bu şekilde elde edilen ışınım eş fazlı ışınımaya yani lazere dönüştürülür. Serbest elektron lazeri temel olarak bu prensiple çalışmaktadır. Bu lazerlerden elde edilen ışınım, sürekli ve ayarlanabilir bir dalgaboyuna sahiptir. Femtosaniye mertebelerinde üretilen atmaların şiddeti oldukça yüksektir (Wiedemann 2003).

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:

$$\lambda_{SEL} = \frac{\lambda_u}{2\gamma_e^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} + \gamma_e^2 \theta^2 \right) \quad (2.2)$$

Salındırıcı kuvvet parametresi K ,

$$K = eB_u \lambda_u / 2\pi m_e c = 0.9337 B_u [T] \lambda_u [cm] \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada m_e elektronun durgun kütlesi, c ışık hızı ve $e = \sqrt{4\pi\alpha}$, $\alpha=1/137$ ince yapı sabitidir. Salındırıcı magnet için $K \approx 1$ ve zigzaglayıcı magnetler için ise $K \geq 3$ 'tür. Zigzaglayıcı magnetlerde manyetik alanın çok olmasından dolayı elektron paketçiğine uygulanacak olan manyetik alan da çok olacaktır. Bu durum elde edilen ışınım eşfazlı olmamaktadır.

Işınım, elektron demetinin yapısına bağlı olarak sürekli formda (cw) veya ns, ps gibi çok kısa uzunluklu atmalar şeklinde elde edilebilir. Günümüzde tipik serbest elektron lazerlerinin gücü 1–100 kW aralığındadır. Tipik bir serbest elektron lazerleri için enerji aralığı 1–10000 eV'tur (Wiedemann 2003).

2.4 Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Avantajları

Serbest Elektron Lazerinin diğer klasik lazerlerle ve sinkrotron tabanlı ışınım kaynaklarıyla karşılaştırıldığında birçok önemli avantajı olduğu görülmektedir. Geniş bir dalgaboyu aralığında hassas bir şekilde ayarlanabilir olması bu avantajlardan biridir. Denklem 2.2' de verilen rezonans denkleminde görüldüğü gibi, SEL ışınımının dalgaboyu, manyetik alanın (B_u) ve ya elektron enerjisinin (γ) değiştirilmesi ile ayarlanmaktadır. Dünyada kırmızıaltı bölgeden morötesi bölgeye kadar geniş bir aralıkta ayarlanabilir serbest elektron lazeri örnekleri vardır. Tek bir hızlandırıcı ve çoklu salındırıcılar kullanarak ışınım geniş bir alanda ayarlanabilir olmaktadır (Wiedemann 2003).

Klasik lazerlerde her dalgaboyunda çok kısa atmalar elde etmek mümkün değildir. Aynı şekilde sinkrotron ışınımından da her dalgaboyunda kısa atmalar elde etmek mümkün değilken, SEL'lerden bu çok kısa atmalar her dalgaboyunda elde edilebilir. Böyle kısa atmalar elde etmek SEL'ler için önemli bir avantajdır. Serbest Elektron Lazerlerinden ise pikosaniye hatta femtosaniye mertebelerinde atma elde etmek mümkündür.

Ayrıca bu lazerlerden diğer klasik lazerlerin ve sinkrotron ışınımının ürettiği pik ya da ortalama parlaklıklarından çok daha yüksek değerlerde parlaklık üretilebilmektedir. Elde edilen bu yüksek parlaklık modern teknolojiye sahip fotokatot tabancaların kullanıldığı lineer hızlandırıcılarda yaratılmaktadır. Kırmızıaltı bölgede diğer lazerlere kıyasla 3- 4 katı kadar parlaklık elde edilmektedir (Dattoli 2000).

Serbest elektron lazerlerinin diğer önemli avantajlarından bir diğeri ise ayarlanabilir kısa dalga boyları ve yüksek güçler de üretebilmeleridir. Bu özelliklerinden dolayı SEL'ler dördüncü nesil ışınım kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Bu lazerler ile uzun ve sürekli olarak çalışmalar yapılabilir. Klasik lazerlerin çalıştırılmasında belirli bir güç sınırı bulunmaktadır. Bu sınır aşıldığı zaman lazer bozulmaktadır. Bu lazerlerde ise herhangi bir sınır bulunmamaktadır. Örneğin kimyasal oksijen iyodin (COIL) lazerler yüksek güce yaklaşık 10 dakika boyunca ulaşabilmektedir. Bu süre aşılmaya lazer bozulmaktadır. Kırmızıaltı SEL'ler ise yılda 2000- 3000 saat çalışma süresine kadar

ulaşmaktadır (Krishnagopal *et al.* 2004). Çizelge 2.2' de geleneksel lazerler ile SEL' in karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 2.2' de geleneksel lazerler ile SEL' in karşılaştırılması

	Nd-YAG	CO ₂	Ti-Saphire	SEL
Dalgaboyu	1.064 µm	10.6 µm	nm mertebesinde	mm' den nm'ye kadar ayarlanabilir
Atma yapısı	atmalı	Sürekli	atmalı	Atmalı
Atma süresi	milisaniye	—	femtosaniye	pikosaniyeden femtosaniyeye kadar
Pik Gücü	kW	kW	kW	MW

2.5 Dünyadaki Kırmızıaltı SEL Laboratuvarları

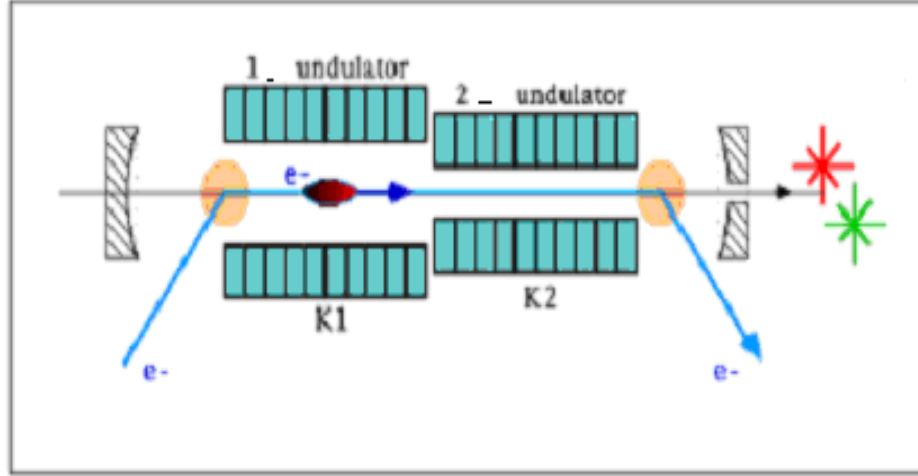
Dünyada kırmızıaltı bölgeyi de içine alacak şekilde spektrumun geniş bir aralığını tarayan pek çok serbest elektron lazeri mevcuttur. Bu laboratuvarlardan; Fransa' da bulunan CLIO Laboratuvarı, Almanya'da bulunan ELBE Laboratuvarı, Japonya'da bulunan iFEL ve FEL- SUT Laboratuvarları, Hollanda' da bulunan FELIX Laboratuvarı ve Amerika' da bulunan Vanderbilt ve Jefferson Laboratuvarları (JLab) incelenerek bu laboratuvarlardan elde edilen SEL demetlerinin özellikleri, demet hatları, deney istasyonları ve bu lazer ile yapılan araştırmalar, kullanılan teknikler araştırılmıştır.

2.5.1 CLIO SEL laboratuvarı (Orsay, Fransa)

(<http://clio.lcp.u-psud.fr/>)

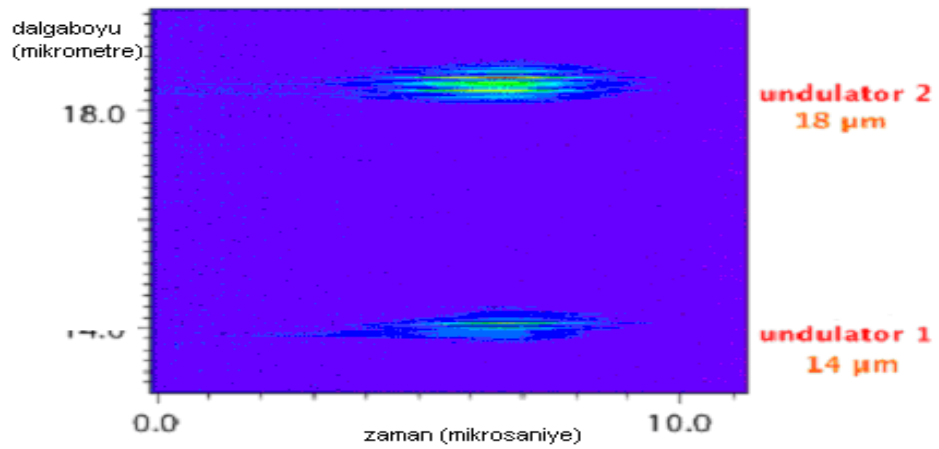
Fransa' nın Orsay kentinde bulunan CLIO Serbest Elektron Lazeri, her biri 1 m olan iki salındırıcıdan oluşmakta olup bu salındırıcılar birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilmektedir. Bu durum, CLIO SEL' den orta kırmızıaltı bölge aralığında yaklaşık 20 µm' ye kadar eş zamanlı olarak iki renkte ve birbirinden bağımsız olarak ayarlanabilen ışınım elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

CLIO, 20-50 MeV aralığında çalışan lineer bir hızlandırıcıya sahiptir. Işınımın dalga boyu 3-60 μm aralığındadır. Laboratuvar, 1987’de inşa edilmeye başlanmış ve merkezden ilk lazer ışınımı 1991 yılında alınmıştır (Prazers *et al.* 2000).



Şekil 2.3 CLIO SEL’ in şematik görünümü (<http://clio.lcp.u-psud.fr/>)

Şekil 2.3’ te CLIO SEL’ in şematik görünümü verilmiştir. Eşzamanlı olarak birbirinden bağımsız iki farklı ışınım elde etmek, CLIO SEL’ in kullanımını arttırmaktadır. Laboratuvar, SEL kullanıcılarına yılda yaklaşık 2000 saat orta kırmızıaltı bölgede lazer ışını sağlamaktadır. Şekil 2.4’ te iki farklı salındırıcıdan elde edilen farklı dalgaboyuna sahip ışınımalar görülmektedir.



Şekil 2.4 CLIO SEL’ den iki salındırıcı ile elde edilen ışınımaların görünümü(<http://clio.lcp.u-psud.fr/>)

CLIO elektron demeti ve salıncı parametreleri Çizelge 2.3' de ve CLIO serbest elektron lazeri parametreleri Çizelge 2.4' de verilmiştir.

Çizelge 2.3 CLIO Laboratuvarının elektron demeti ve salıncı parametreleri

Enerji (MeV)	8- 50
Paketçik yükü (nC)	1
Ortalama akım (mA)	6
Pik akımı (A)	100
Normalize emittans (π mm mrad)	40
K salıncı parametresi	0- 2.2
Salıncı magnet periyodu (cm)	5.04
Manyetik alan (T)	0.97

Çizelge 2.4 CLIO serbest elektron lazeri parametreleri

Dalgaboyu aralığı (μ m)	3-150
Paketçik uzunluğu ps (ayarlanabilir)	0.5 – 6
Max. ortalama güç (W @ 16ns/ 25 Hz)	1
Max. pik gücü (MW @1 ps)	100

CLIO' dan alınan ışınım yedi deney istasyonunda kullanılmaktadır. Bu istasyonlardan iki tanesi özel deneyler için ayrılmış olan odalardır. Bu odalar E0 ve E5 olarak adlandırılan deney odalarıdır.

E7 olarak adlandırılan ilk istasyon bir diyagnostik odasıdır ve bu oda genel amaçlı kullanılmaktadır. SEL fiziği, teşhis çalışmaları ve ışık deneyleri yapılmaktadır. Bu çalışmalar ile demetin kararlı hale getirilmesi için çalışmalar yapılmakta ve demet parametreleri kontrol edilmektedir. Oda, soğutulmuş kırmızıaltı algılayıcıları, monokromatörler ve optik düzeneklerden oluşmaktadır. Dolayısı ile E5 ve E0 olarak adlandırılan deney odaları, bu diyagnostik ve ışık çalışmalarından elde edilen ilginç sonuçların araştırılması için kullanılan deney odalarıdır.

E1 odası, mikroskopi deneylerinin yapıldığı odadır (Dazzi *et al.* 2007). E2 odası ise pompa-sonda deneylerinin yapıldığı odadır. Bu oda da protein, enzim gibi biyolojik moleküller üzerine çalışmalar yapılmaktadır. E3 deney odasında ise toplam frekans yaratılması deneyleri (SFG) yapılmaktadır. SFG deneyleri ile yüzey fiziği çalışılmaktadır. Bu deney ile bir çözücü içerisindeki elektrodun yüzeyinde meydana gelen olaylar tanımlanmaktadır (Vidal 2005). Çalışmalarda yüzeyin kirlenmesini engellemek için çok yüksek vakum odası kullanılır.

E6 deney odasında da yine SFG yüzey fiziği çalışmaları yapılmaktadır. Bu odada E3 odasından farklı olarak pompa-sonda deneylerinin pikosaniye çözünürlükle yapılması sağlanmaktadır. Bu durum CLIO ile eş zamanlı görünür ve UV bölgede atmalar yayan bir Nd:YILF lazerlerin kullanılması ile sağlanmaktadır. Kuantum kuyularında ve yarıiletkenlerde lineer olmayan çalışmalarda kullanılmaktadır. Örneğin InAs ve InSb' in lineer olmayan soğurması 3,5 µm ile 14 µm arasında kaydedilmiştir. Diğer bir çalışma ise GaAs/AlGaAs kuantum kuyularında elektron durulma zamanlarının ölçülmesidir (Ortega 2003). Toplam frekans üretimi ve pompa-sonda deneyleri tezin 4.2 kısmında anlatılmıştır.

CLIO' da yapılan çalışmalarına genel olarak bakıldığı zaman; CLIO Laboratuvarı; yüzey fiziği, elektrokimya, yarıiletkenler ve iyon spektroskopisi gibi birçok alanda çalışmalarda kullanılacak ışınım elde etmektedir. 1992 yılından bu yana CLIO Serbest elektron laboratuvarından alınan ışınımın kullanıldığı projelerin dağılımına bakılacak olursa; elde edilen ışınım ile yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir (Ortega 2003):

- 30 % yüzey çalışmaları,
- 22 % elektrokimya çalışmaları,
- 22 % moleküler çalışmalar,
- 12 % yarıiletken ve kuantum kuyusu çalışmaları,
- 7 % yakın alan kırmızıaltı mikroskopisi,
- 3,5 % yüzey foto yayını
- 3,5 % eczacılık çalışmaları

2.5.2 ELBE SEL laboratuvarı (Dresden, Almanya)

(<http://www.fzd.de>)

Almanya' nın Dresden-Rossendorf bölgesinde bulunan bu serbest elektron lazeri, 5 μm ile 150 μm arasında kırmızıaltı bölgede eş fazlı ışınım üretmektedir. Alınan ışınımın geniş bir aralığa sahip olması bu lazer ile uygulamaları arttırmaktadır. Süperiletken lineer hızlandırıcı teknolojisine dayanan laboratuvarın elektron demeti ve ışınım parametreleri Çizelge 2.5-2.6' da verilmiştir.

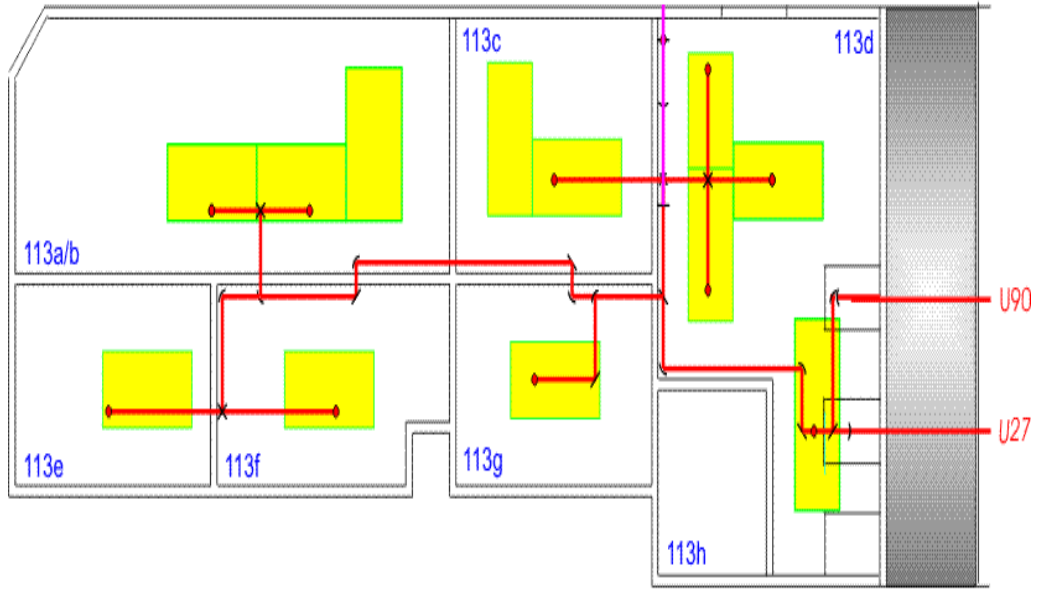
Çizelge 2.5 ELBE elektron demeti ve salındırıcı parametreleri

Elektron enerjisi (MeV)	12- 34
Paketçik yükü (pC)	77
Ortalama akım (mA)	1
Pik akımı (A)	77- 7.7
Normalize emittans (mm mrad)	13
K salındırıcı parametresi	0.3- 0.8 (U 27) 0.3- 2.7 (U100)
Salındırıcı periyodu (cm)	2.73 (U 27) 10 (U 100)

Çizelge 2.6 ELBE FEL parametreleri

Salındırıcı	U27	U100
Dalgaboyu aralığı (μm)	4- 22	20- 200
Paketçik uzunluğu (ps)	0.8- 10	0.8- 10
Ortalama çıkış gücü (W)	0.1- 25	0.1- 25
Pik gücü (MW)	924 – 308	924- 308
Tekrarlama hızı (MHz)	13	13

U27 ve U100 adı verilen iki farklı salındırıcılardan alınan ışınım yedi deney odasına gerekli düzenekler ile taşınmaktadır. Bu deney odalarının şematik görünümü Şekil 2.5' de verilmiştir.



Şekil 2.5 ELBE laboratuvar binasının şematik planı (<http://www.fzd.de>)

113a/b olarak gösterilen oda yarıiletken spektroskopi laboratuvarıdır. Bu laboratuvarıda SEL ile senkronize olmuş fs/ps Ti-Safir lazer bulunmaktadır. 113c olarak adlandırılan oda ise fs yükseltici ve spektroskopi laboratuvarıdır. FEL ile senkronize olmuş fs yükseltici sistem ile çalışmaktadır. Lineer olmayan optik deneyleri ve SEL ışınımı biyolojik sistemler üzerinde kullanılır. 113d odası diyagnostik ve yakın alan spektroskopi laboratuvarıdır. Bu odada demet fiziği çalışmaları ve yakın alan mikroskopi çalışmaları yapılmaktadır. 113e/f odası ise dış kullanıcı laboratuvarları olarak kullanılmaktadır. Bu oda sadece dış kullanıcı deneyleri için sınırlandırılmıştır. Bu laboratuvarlar tüm gerekli temel kurulumlarla (optik tablolar, tasfiye gazlarıyla, He gazının tekrar sirkülasyonu için olan hat, LAN erişimi, vb...) donatılmıştır. 113g odası radyokimya laboratuvarıdır. Belirli radyo çekirdeklerin araştırılması için kontrol bölgesi olarak kullanılmaktadır. Laboratuvarıda yer alan glove box, oksijen ve karbondioksit bulunmayan atmosferde tutulması gereken hassas örnekler üzerinde deneylerin gerçekleşmesine de olanak sağlar.

ELBE' de yapılan tekniklerden biri yakın alan mikroskopisidir. Yakın-alan mikroskopisi iki boyutlu örneklerin, kullanılan ışınımın dalga boyundan daha küçük ayırma potansiyeli ile karakterizasyonuna olanak sağlar. Bu teknik tek dalgaboylu kırmızıaltı lazerler ile kullanılır. Kırmızıaltı SEL ışınımının ayarlanabilirliği, moleküler

titreşim davranışında biyolojik izlerin çalışılmasına olanak sağlar. Yakın-alan tekniği uygulamasında, SEL' in yüksek şiddet ve parlaklığı sayesinde ışınımın sadece örneğin küçük bir bölümüne girmesine rağmen büyük yüzeyler boyunca çalışma olanağı sağlanmaktadır (Michel *et al.* 2006).

ELBE' de yapılan diğer bir çalışma alanı ise yarıiletken spektroskopisidir. ELBE' nin dalgaboyu aralığı olan 1-150 μm , yarıiletkenlerde ve yarıiletken kuantum yapılarda plasmonlar, fononlar, kuantum kuyuları gibi yapılarda safsızlık bağlanma enerjileri ve altbandlar arası enerjiler gibi uyarılma karakterleri olan enerjilerle (8-250 meV) uyuşmaktadır. Bunun yanı sıra yüksek pik gücü lineer olmayan süreçlerin çalışılmasına olanak sağlamaktadır. Bu nedenle ELBE' de durulma dinamiğinin zaman-çözünürlük çalışmaları yapılabilmektedir. Süper örgü kademeli lazerin verimliliği ile ilgili olan iç ve ara bant durulmaları arasındaki etkileşimleri açıklanmakta, Bloch osilatörleri ve kuantum kademeli lazerler gibi uyarılmış kuantum yapıların kırmızıaltı optiksel özellikleri incelenmektedir (Stehr *et al.* 2006).

ELBE ışınım kaynağı, yaşam bilimlerinde de çeşitli araştırma alanlarında kullanılmaktadır. Elde edilen kırmızıaltı ışınımı yakın kırmızıaltı bölgeden yüksek mikrodalgalar arasında yer alan THz bölgeyi kapsamaktadır. Bu dalgaboyu 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.

Kırmızıaltı spektroskopi, mineral yüzeyleri gibi ağır metal bileşenlerinin doğal ara yüzlerle moleküler etkileşimini belirlemede çok yararlı bir tekniktir. ELBE, bu çalışmalara da yer vermektedir. Spektrumunda örnek içerisinde mevcut olan metal elementlerin ve soğurma sırasında şekillenen molekül komplekslerin yapısının belirlenmesini sağlar (Olmstead 1983).

ELBE' de KA SEL ile yapılan çalışmaları genel başlıklar altında özetleyecek olursak;

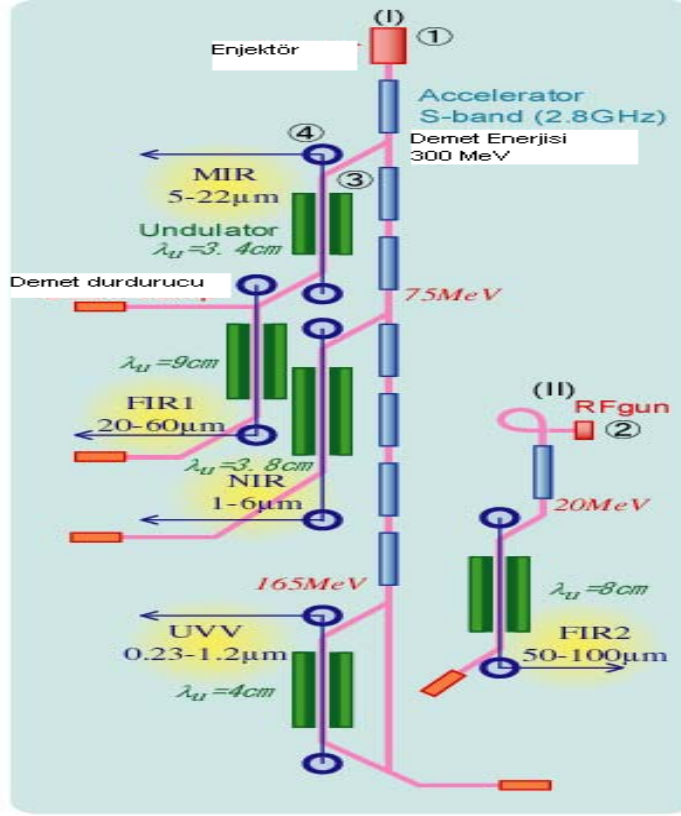
- Yakın alan spektroskopisi ve mikroskopisi,
- ps bölgede pompa-sonda çalışmaları,
- Yarıiletkenlerin ve kuantum yapıların incelenmesi,
- Yüzey çalışmaları,
- Biyomoleküllerin spektroskopisi,

olarak sıralayabiliriz.

2.5.3 iFEL SEL laboratuvarı (Osaka, Japonya)

(<http://www.fel.eng.osaka-u.ac.jp>)

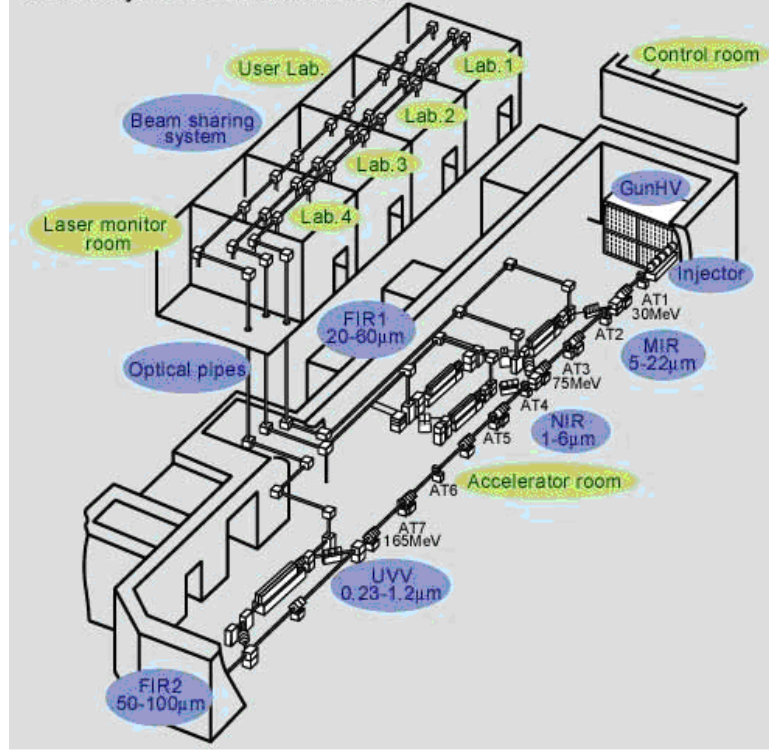
iFEL, Japonya' nın Osaka kentinde bulunan Osaka Üniversitesindeki Serbest Elektron Lazer Enstitüsüdür. iFEL' deki SEL sistemi iki RF lineer hızlandırıcıdan ve 5 salındırıcıdan oluşmaktadır. 165 MeV' lik lineer hızlandırıcıyı (linac 1) kullanan sistemde enjektörden 30 MeV ile alınan elektron demeti sırasıyla 75 MeV ve 165 MeV' e yükseltilmektedir. Daha sonra bu ışınım dört salındırıcıya enjekte edilmektedir. Bu sistem 0.23-60 μm dalgaboyu aralığını kapsamaktadır. 20 MeV' lik lineer hızlandırıcının kullanıldığı sistem ise 50–100 μm olan uzak kırmızıaltı aralığını taramaktadır. SEL teknolojisi çalışmaları, RF tabanca, fotokatot çalışmaları gibi araştırmalar genellikle bu sistem üzerinde yapılmaktadır. SEL' den elde edilen ışınım daha sonra diyagnostik odasına ve dört deney istasyonuna taşınmaktadır. SEL çıkış sinyalinin dalgaboyu ve kararlılığı diyagnostik odasından alınan sonuçlar neticesine göre kontrol edilir.



Şekil 2.6 iFEL' in şematik görünümü (<http://www.fel.eng.osaka-u.ac.jp>)

Şekil 2.6' da iFEL' in şematik görünümü verilmiştir. Optik rezonatörün çıkış aynasından alınan SEL demeti bir teleskop ile geri döndürülerek yansıtıcı ayna sistemleri ile Şekil 2.7' de kuşbakışı görülen laboratuvarın üçüncü katına yerleştirilen kullanıcı odalarına nakledilir.

Çizelge 2.7' de farklı salıncılarından elde edilen lazer enerjisi ve lazer dalgaboyları verilmiştir. Çizelge 2.8' de ise MIR bölgede elde edilen lazerin özellikleri verilmiştir.



Şekil 2.7 iFEL laboratuvarının şematik görünümü (<http://www.fel.eng.osaka-u.ac.jp>)

Çizelge 2.7 iFEL Laboratuvarının parametreleri

	E_e (MeV)	λ_u (cm)	λ_{lazer} (μm)
UV	165	4	0.23- 1.2
NIR	75	3.8	1- 6
MIR	30	3.4	5- 22
FIR- I	30	9	20- 60
FIR- II	20	8	50- 100

Çizelge 2.8 iFEL MIR- serbest elektron lazeri parametreleri

Dalgaboyu aralığı (μm)	5- 22
Paketçik atma uzunluğu (ps)	10
Max. ortalama güç (W)	1
Max. pik gücü (MW)	5

Bu enstitüde demet fiziği ve SEL ışınımının uygulama araştırmaları çalışılmaktadır. Enstitüdeki ana araştırma alanları, yüksek kalitede ve daha uzun dalga boylarında ışınım

elde etme amaçlı demet fiziği, yarıiletken uygulamaları, çevre kimyası ve demet fiziği çalışmalarının demet kalitesini desteklemesinden faydalanılarak çalışılan biyomedikal uygulamalardır. Yarıiletken çalışmalarda; yarıiletken cihazların araştırılması, yarıiletken karakterizasyon ve analiz, yarıiletken foton işlemleri, kuantum yapıların bant süreksizlikleri temel olarak çalışılan alanlardır.

Biyomedikal çalışmalarda ise damarlar tıkanıklığı tedavisi için yapılan çalışmalar başı çekmektedir. Damarlarda bulunan kolesterol esterlerinin ayrılması iFEL' de yapılan önemli bir biyomedikal uygulamasıdır. Bunu dışında, dokudan seçilen bölgenin kesilip çıkarılması üzerine yapılan çalışmalar SEL' in ayarlanabilir dalgaboyuna ve kısa atma yapısına sahip olması özelliklerinin öne çıkması ile yapılmaktadır (Awazu *et al.* 2003).

2004 yılına kadar üniversitelere, ulusal laboratuarlara ve özel şirketlere ait araştırma grupları ile işbirliği içerisinde 40 uygulama çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırma alanları biyomedikal uygulamalar, yarıiletken araştırmaları ve fotokimya olmak üzere toplam makine çalışma süresinin sırasıyla % 60, % 24 ve % 8'ini bu alanlar üzerinde yapılan çalışmalar kapsamaktadır (Horiike 2004).

Osaka iFEL, demet çalışmalarının yanı sıra kullanıcılarına yaklaşık 5000 saat süreli lazer demeti sağlamıştır. Araştırma programlarındaki birçok kullanıcı 5-20 µm aralığındaki kırmızıaltı bölgede çalışma yapabilmektedir. Yapılan fizik araştırmaları ile kırmızıaltı SEL sistemini kararlı hale getirerek araştırmaları daha uzun dalga boylarının çalışılabileceği bölgelere kadar genişletmek amaçlanmaktadır.

iFEL' in genel uygulama alanlarını genel başlıklar olarak;

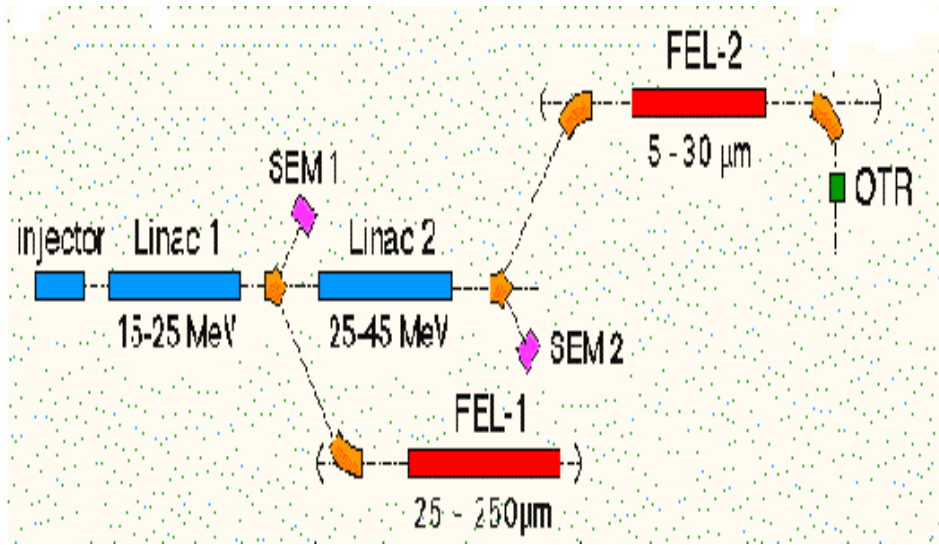
- Yarıiletken çalışmaları,
- Fotokimya çalışmaları,
- Biyomedikal çalışmalar

olarak sıralayabiliriz.

2.5.4 FELIX SEL laboratuvarı (Nieuwegein, Hollanda)

(<http://www.rijnhuizen.nl/>)

Hollanda’ da bulunan FELIX laboratuvarı bir enjektör ve iki radyo frekanslı doğrusal hızlandırıcıdan oluşmaktadır. İlk linak sonrasında elektron enerjisi 25 MeV’ e ulaşmakta ikinci linak çıkışında ise 50 MeV’ lik ışınım elde edilmektedir. Bu ışınım, her biri bir lineer hızlandırıcının arkasına yerleştirilmiş salındırıcılardan elde edilmektedir. FELIX’in şematik görünümü Şekil 2.8’ de verilmiştir.



Şekil 2.8 FELIX SEL’ in şematik görünümü (<http://www.rijnhuizen.nl/>)

FELIX’ in hızlandırıcı ve SEL parametreleri Çizelge 2.9-2.10’ da verilmiştir.

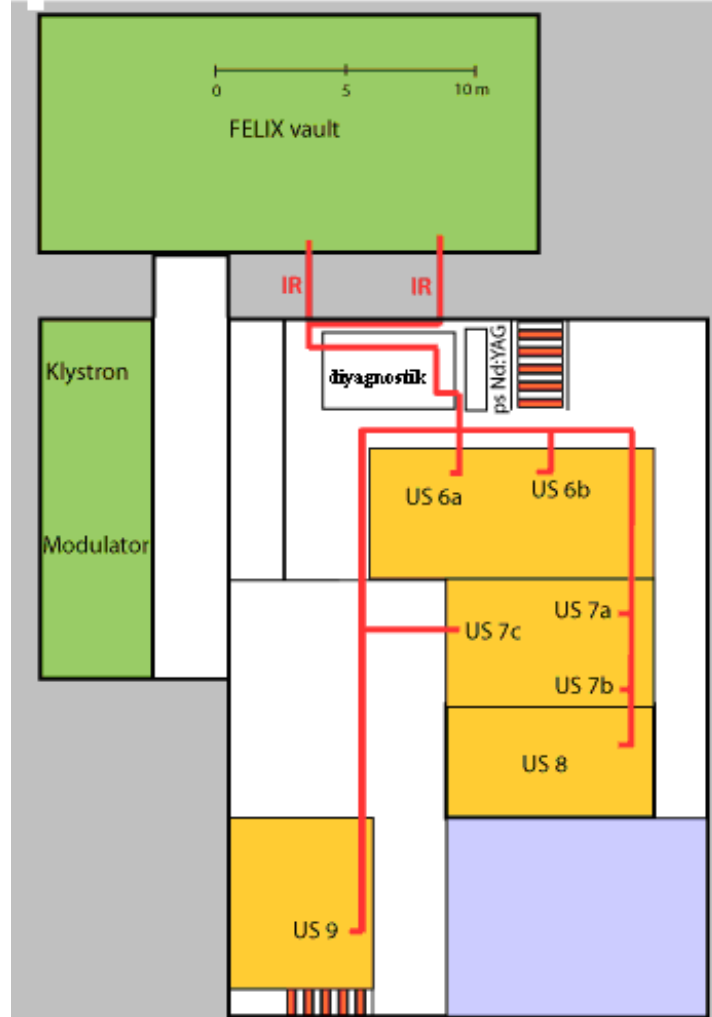
Çizelge 2.9 FELIX Laboratuvarının elektron demeti ve salındırıcı parametreleri

Enerji (MeV)	15- 45
Paketçik yükü (pC)	200
Ortalama akım (mA)	190
Pik akımı (A)	50
Normalize emittans (π mm mrad)	50
K salındırıcı parametresi	< 1.3
Salındırıcı magnet periyodu (mm)	65

Çizelge 2.10 FELIX serbest elektron lazeri parametreleri

Dalgaboyu aralığı (μm)	4.5- 250
Paketçik uzunluğu (ps)	3
Max. ortalama güç (W)	0.5
Max. pik gücü (MW)	100
Tekrarlama hızı (kHz)	1

Şekil 2.9' da FELIX laboratuvarının kuşbakışı görünümü verilmiştir. Elde edilen ışınım, diyagnostik laboratuvarından deney odalarına gönderilmektedir. Laboratuvarında 7 deney istasyonu bulunur.



Şekil 2.9 FELIX laboratuvarının şematik görünümü (<http://www.rijnhuizen.nl/>)

FELIX ışınım pek çok araştırma alanında kullanılmaktadır. Bunlardan biri uzak kırmızıaltı bölgede ışınım veren güçlü lazerlerde uyarılmış Rydberg atomlarının davranışlarının incelenmesidir. Bu çalışma 50 µm civarında yapılmaktadır (Hoogenraad 1998).

FELIX demetinin kullanıldığı bir çalışma alanı da yarıiletkenlerdir. Yarıiletkenlerde lineer olmayan uzak-kırmızıaltı çalışmaları yapılmaktadır. Pompa-sonda deneyi ile düşük sıcaklıkta yarıiletkenlerde geçiş dinamikleri incelenmektedir. Yarıiletken yapılarda yaşam süresi ise diğer bir çalışmadır. Bu çalışma ile GaAs yapılarda kuantum tuzaklarının dinamikleri araştırılmaktadır. Lineer olmayan optik çalışmalarına da bu laboratuarda yer verilmektedir. FELIX ışınımı ile beraber Nd:YAG lazer kullanılır. Toplam Frekans Üretimi tekniği olarak adlandırılan bu teknik lineer olmayan optik çalışmaları için kullanımı kolay ve başarılı bir tekniktir (Barmentlo 1994).

Biyolojik malzemeler üzerinde kesikli doku çalışmaları Eliel ve grubu tarafından incelenmiştir. İlk olarak 2.7- 6.8 µm dalgaboyu aralığında Vanderbilt Üniversitesinde yapılan bu çalışma FELIX SEL kullanılarak 10- 100 µm dalgaboyuna uzatılmıştır. Domuz korneası üzerinde bir doku kesisi çalışmaları yapılmıştır. Daha sonra bu çalışmalar diş minesinde 9.5 mikronda hidroksiapatit kristali üzerinde başarılı sonuçlar vermiştir (Benedikt 1996).

FELIX serbest elektron lazerinden alınan ışınım kullanıldığı alanları genel başlıklar halinde;

- Molekül ve kimya fiziği,
- Katıhal ve yarıiletken fiziği,
- SEL ve lazer fiziği

olarak sıralayabiliriz.

2.5.5 Vanderbilt SEL laboratuvarı (Nashville, ABD)

(<http://www.vanderbilt.edu/fel/>)

Vanderbilt serbest elektron lazeri Nashville’ de Vanderbilt Üniversitesinde yer almaktadır. 2.1 μm ile 9.8 μm aralığında ışınım üretilmektedir. Üniversitenin merkezinde başka ışınım kaynakları da mevcuttur. Ancak SEL, özellikle medikal ve tıbbi çalışmalar için uygun alt yapıya sahiptir.

Çizelge 2.11-2.12’ de Vanderbilt Serbest elektron lazerinin hızlandırıcı ve lazer parametreleri verilmiştir.

Çizelge 2.11 Vanderbilt Laboratuvarının elektron demeti ve salındırıcı parametreleri

Enerji (MeV)	2.1- 9.8
Ortalama akım (mA)	100
Pik akımı (A)	50
K salındırıcı parametresi	1
Salındırıcı magnet periyodu (cm)	2.3

Çizelge 2.12 Vanderbilt serbest elektron lazeri parametreleri

Dalgaboyu aralığı (μm)	2.1 – 9.8
Paketçik uzunluğu (ps)	1
Max. ortalama güç (MW)	12- 30
Tekrarlama hızı (Hz)	> 30

Uygulamaların çoğu cerrahi araştırmalar üzerinedir. Bunun nedeni, Vanderbilt SEL’ in çeşitli dalgaboylarında ayarlanabilir olması ve böylece klasik lazerlerle başarıya ulaşılamayan deneylere olanak sağlayabilmesidir. 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 (Tribble *et al.* 1997).

Araştırma programında çok çeşitli klinik uygulama grupları bulunmaktadır. Ossof ve Reinisch, Vanderbilt SEL' ini kemiklerin ve dokuların başarılı bir şekilde kesilmesi üzerine çalışmaktadır. SEL' in dalgaboyu ve atma yapısı dokuların kesilerle temizlenmesi için uygundur (Robbins *et al.* 2001). 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 (Auerhammer *et al.* 1997).

Vanderbilt SEL kullanılarak biyoloji alanında da çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. SiO₂' deki titreşim modlarının pikosaniye süreçte durulmaları pompa- sonda deneyleri ile araştırılmaktadır. Edwards ve çalışma grubu tarafından, biyoloji ve tıp alanındaki SEL uygulamaları için maruz kalınacak dalgaboyunu tanımlamak için çalışmalar yapılarak, kırmızıaltı mikroskopi teknikleri araştırılmaktadır (Edwards *et al.* 2003).

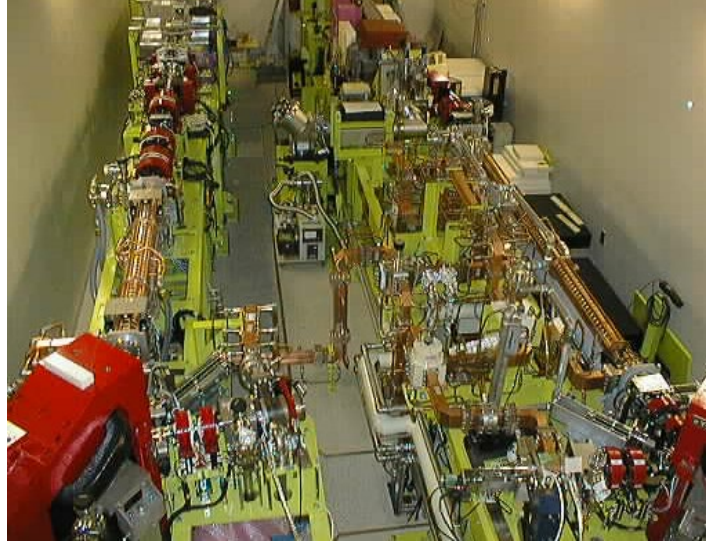
Vanderbilt serbest elektron lazeri ile yapılan çalışmaları özetleyecek olursak;

- Biyomedikal araştırmalar,
- Yarıiletken spektroskopisi,
- Kırmızıaltı mikroskopi,

2.5.6 FEL- SUT SEL laboratuvarı (Tokyo, Japonya)

(<http://www.rs.noda.sut.ac.jp/~felsut/english/index.htm>)

Kırmızıaltı Serbest elektron lazeri merkezi Nisan-1999' da Tokyo Üniversitesinin Noda kampüsünde kurulmuştur. Bu merkezde orta kırmızıaltı bölgede 5-16 µm arasındaki bölgeyi içeren bir SEL ve 300-1000 µm arasındaki bölgeyi içeren uzak kırmızıaltını içeren SEL bulunmaktadır. Hızlandırıcı sistemin fotoğrafı Şekil 2.10' da verilmiştir.



Şekil 2.10 Hızlandırıcı odasının fotoğrafı (<http://www.rs.noda.sut.ac.jp/>)

Orta kırmızıaltı SEL, bir yüksek performanslı RF tabanca, alfa magnet, 2856 MHz' de çalışan doğrusal hızlandırıcı ve bir salındırıcıdan oluşmaktadır. SEL sisteminden geçen elektron demet durdurucusunda tutulmaktadır. Makinenin toplam uzunluğu 9 m dir. SEL sisteminin ana parametreleri ve lazerin özellikleri ise Çizelge 2.13-2.14' de verilmiştir.

Çizelge 2.13 FEL-SUT orta kırmızıaltı laboratuvarının elektron demeti ve salındırıcı parametreleri

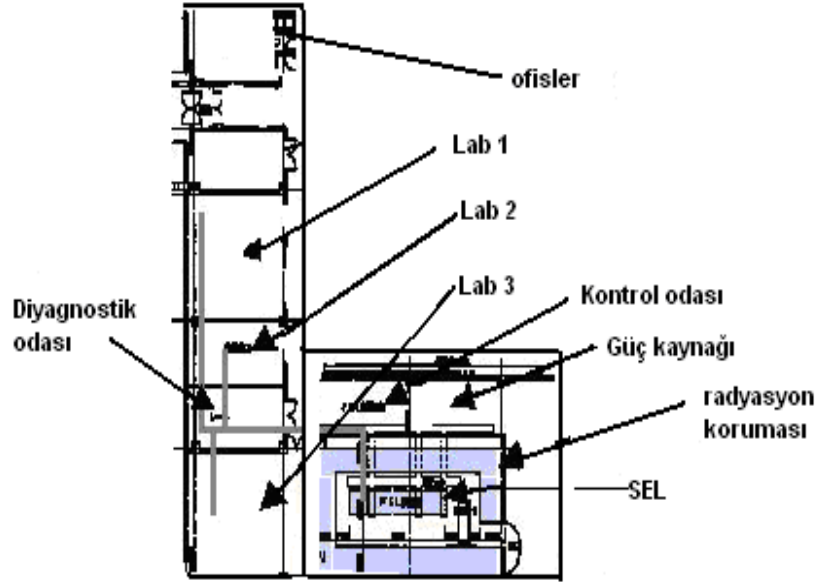
Enerji (MeV)	35
Pik akımı (A)	30
Normalize emittans (π mm mrad)	< 20
Salındırıcı magnet periyodu (cm)	3.2
Manyetik alan (T)	0.83

Çizelge 2.14 FEL- SUT orta kırmızıaltı serbest elektron lazeri parametreleri

Dalgaboyu aralığı (μ m)	5- 16
Paketçik atma uzunluğu (ps)	2
Max. Ortalama güç (W)	1
Max. pik gücü (8MW)	2- 5

Uzak KA SEL sistemi ise temel olarak orta KA SEL ile benzerdir. Burada dik bir salıncık, makinenin genişliğini küçültmek için yerleştirilmiştir. Böylelikle iki SEL makinesi de paralel olarak hızlandırıcı odasında yer alabilmektedir.

İki sisteminde RF güç kaynağı aynı olduğu için sistemler eş zamanlı olarak çalıştırılmamaktadır. Bu nedenle haftanın üç günü bir sistem, haftanın diğer üç günü ise ikinci sistem kullanılmaktadır. Elde edilen demet ilk olarak teşhis odasına optik düzenekler ve aynalar yardımı ile taşınmaktadır. Burada lazer demetinin kalitesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Daha sonra demet deney odalarına iletilmektedir. Yapının planı Şekil 2.11’de gösterilmektedir.



Şekil 2.11 FEL- SUT SEL Merkezinin planı (<http://www.rs.noda.sut.ac.jp/>)

Laboratuvar 1 olarak adlandırılan oda yüksek dereceli havalandırma tesisatı ile düzenlenmiştir. Genel olarak spektroskopi deneyleri için kullanılmaktadır. Üç deney aracı bu odada bulunmaktadır: Zaman çözünürlüklü kırmızıaltı spektroskopi düzeneği, Ti-Safir lazer ile donatılmış bulunduran pompa- sonda deney düzeneği ve katı hal deney düzeneği. Nanosaniye zaman çözünürlüklü kırmızıaltı çalışmalarda SEL makroatomlarının kırmızıaltı spektrumu üzerinde meydana getirdiği değişiklikler incelenmektedir. Örnek üzerindeki ışınlanan alandan ve ışınlanmayan alandan sinyaller

eş zamanlı olarak alınarak soğurmalarındaki farklılıklar ölçülmektedir. Bunun dışında odada üç tip pompa-sonda deneyi uygulanmaktadır. İlk deneyde SEL mikroatmaları hem pompa hem de sonda atmaları olarak kullanılmaktadır. Diğer deneyde pompa atmaları için SEL kullanılırken, sonda atmaları için Ti-Safir lazerler kullanılmaktadır. Üçüncü çalışmada ise pompa ve sonda atmalarının ikisi içinde Ti-Safir lazer kullanılmaktadır (Ogi *et al.* 2006).

Laboratuvar 2 odasında temel olarak mikroskopi deneyleri yapılmaktadır. FT-IR deney düzeneği ve kırmızıaltı yakın alan tarama mikroskobu odada bulunan ana elemanlardır. SEL ışını kırmızıaltı mikroskop objektifinden geçtikten sonra, örnek yakın alan ışınlanması ile ışınlanmış olur. Örnekten alınan cevap sinyali ise, kırmızıaltı mikroskopunun objektifinden geçerek MCT dedektörü ile algılanır. Tarama mekanizması için Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) sistemi kullanılır. Bunun dışında bu odada biyolojik örneklerin ışınlama etkilerini çalışılmaktadır. SEL ışını kırmızıaltı mikroskop objektifi ile örnek üzerine gönderilir. Etkiler, FT-IR spektrometresi ile gözlemlenir. Sistem hareketli bir sistemdir. Işın sisteme geldiğinde, sistemde yer alan hareketli ayna ile kırmızıaltı mikroskop objektifine gönderilir ve daha sonra FT-IR spektrometresine yönlendirilir. Örneğin spektrumu kaydedilir (Masaki *et al.* 2006). Dişçilikle ilgili malzemeler gibi pek çok örneğin ışınlama çalışmaları bu odada yapılmaktadır.

SEL ışınımının gönderildiği laboratuvar 3 adlı odada ise gaz moleküllerinde çoklu-foton ayrıştırması ve iyonizasyonu, izotop ayrımı ve katıların kesilip çıkarılması çalışılmaktadır (Chernyshev 2001). Odanın tavanı oldukça yüksektir. Böylece katı yüzey çalışmaları için gerekli yüksek vakum cihazları, yüksek manyetik alan gerektiren çalışmalar için kullanılacak cihazların kurulumu ve kullanımı olanaklı hale gelmektedir.

Merkezde yapılan çalışmaları özet olarak;

- Çoklu foton dağılımı,
- Nanosaniye zaman çözünürlüklü kırmızıaltı spektroskopisi,
- Pompa-sonda deneyleri,

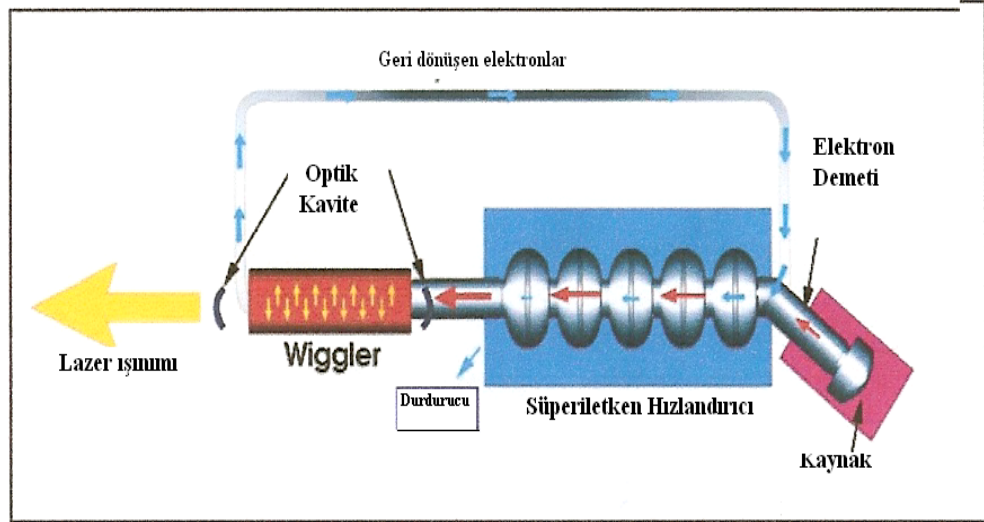
- Yakın alan mikroskopisi,
- FT-IR spektroskopisi,
- İso-top ayırımı,
- Katıların optik özelliklerinin incelenmesi

başlıkları halinde sıralayabiliriz.

2.5.7 Jefferson SEL laboratuvarı (Amerika)

(<http://www.jlab.org/FEL/>)

Jefferson laboratuvarı, enerji geri dönüşümlü lineer hızlandırıcısına dayalı serbest elektron lazeridir. Kaynaktan alınan elektronlar süperiletken lineer hızlandırıcıda hızlandırılır ve buradan çıktıktan sonra merkezinde zigzaglayıcı magnet bulunan optik kaviteye yönlendirilir. Elde edilen ışınım KA bölgede 1.5–14 μm dalgaboyu aralığına sahiptir. Jefferson SEL' in şematik görünümü Şekil 2.12' de verilmiştir.



Şekil 2.12 Jefferson SEL' in şematik görünümü (<http://www.jlab.org/FEL/>)

Jefferson SEL' in hızlandırıcı ve lazer parametreleri sırası ile Çizelge 2.15-2. 16' da verilmiştir.

Çizelge 2.15 Jefferson Laboratuvarının elektron demeti parametreleri

Enerji (MeV)	80- 200
Paketçik Yüğü (pC)	135
Ortalama akım (mA)	10
Pik akımı (mA)	270
Demet gücü (kW)	2000
Normalize emittans (mm-mrad)	< 30

Çizelge 2.16 Jefferson serbest elektron lazeri parametreleri

Dalgaboyu aralığı (μm)	1.5 – 14
Paketçik atma uzunluğu (ps)	0.2 – 2
Max. ortalama püç (kW)	> 10
Tekrarlama hızı (MHz)	4.7 – 75

Laboratuvar, mikron mertebesinde küçük mekanik yapıların üç boyutlu olarak üretilmesinde kullanılmaktadır. Bu çalışma ile mikrooptiksel cihaz teknolojisi gelişmektedir. Bunun dışında elde edilen SEL ile dokuma, yumuşatma ve sıkılaştırma gibi malzemeler üzerinde çalışmalar yapılabilmektedir. Bu çalışmalar her ne kadar klasik lazerler ile yapılabiliyor olsa da, Jefferson SEL' in kararlı yüksek gücü bu çalışmalarda SEL' e duyulan ihtiyacı arttırmaktadır.

Jefferson SEL' in kullanıldığı diğer bir çalışma alanı ise karbon nanotüplerin üretimidir. Bu çalışma Jefferson Laboratuvarı NASA ile beraber çalışmaktadır. Yüksek kaliteli, tek duvarlı karbon nanotüpleri, hava boşluğu uygulamalarının testi için verimli bir şekilde üretilmektedir.

Materyallerin yapısı ve dinamiği, Jefferson Laboratuvarın sahip olduğu spektral aralık ile incelenmekte ve böylece lineer süreçlerin yanı sıra lineer olmayan süreçlerin incelenmesi mümkün olmaktadır. Süperiletkenlerin ve yarıiletkenlerin kimyasal dinamikleri araştırılabilmektedir (Dylla 1997).

Süperiletken hızlandırıcı teknolojisine dayalı olan bu merkez, plastiklerde, sentetik fiberlerde, elektronik malzemelerde, mikroteknolojik ve nanoteknolojik araştırmalarda önemli bir yere sahiptir. Jefferson laboratuvarının uygulama alanlarını ana başlıklar halinde özetleyecek olursak;

- Polimer yüzeylerinin incelenmesi,
- Metal yüzeylerinin incelenmesi,
- Elektronik malzemelerin araştırılması

olarak verilebilir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Temel ve Uygulamalı Araştırmalarda Kullanımı adlı çalışmada, KA-SEL konulu kaynak kitaplar ve yayınlanmış makalelerden yararlanılmıştır. YUUP projesi sonuç raporları, THM kapsamında ilkbahar ve sonbahar dönemi olarak yılda iki kez yapılan ve son olarak Haziran 2008' de 5. si yapılmış olan çalıştay sunumları ve dünyadaki KA-SEL laboratuvarlarının ziyaretleri ve bu laboratuvarların internet siteleri çalışma için kullanılan materyallerdendir. YUUP Projesi kapsamında yurtdışından bazı laboratuvarlar ile imzalanan protokoller neticesinde proje üyeleri tarafından yapılan yurtdışı ziyaretlerinde elde edilen bilgiler tezde materyal olarak kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

Analitik durumların çözümünde KA-SEL konulu makalelerden, çalıştay sunumlarından ve YUUP Proje Sonuç Raporlarından yararlanılmıştır. THM projesinde üretilmesi önerilen KA-SEL'in kullanım alanlarını incelenmiştir. Bu incelemeler sırasında dünyadaki KA-SEL laboratuvarlarına örnek olarak Japonya iFEL ve FEL- SUT, Fransa CLIO, Almanya ELBE, Hollanda FELIX, Amerika Jefferson ve Vanderbilt laboratuvarları alınmıştır. Bu laboratuvarların uygulama alanlarına, laboratuvarın internet sayfasından ve laboratuvarla ilgili internetten yayınlanan makalelerden ulaşılmıştır. Buradan alınan uygulama alanlarında kullanılan bazı yöntemler laboratuvarlardan ulaşılan makalelerden daha detaylı araştırılarak incelenmiştir.

THM kapsamında dünyadan bazı laboratuvarlar ile imzalanmış olan protokoller bu çalışma için büyük önem taşımaktadır. Bu laboratuvarlar; Almanya BESSY Laboratuvarı, Almanya ELBE Laboratuvarı, Almanya DESY Laboratuvarı ve İsviçre CERN Laboratuvarıdır. Yapılan protokoller neticesinde bu laboratuvarlara yapılan ziyaretler ile dünyada bu alanda yapılan çalışmalar yerinde izlenmiştir. Protokoller dışında gerçekleşmiş olan Hollanda FELIX Laboratuvarı ve Fransa CLIO Laboratuvarı bilimsel

ziyaretleri de yapılan çalışmaya ışık tutmuştur. YUUP Projesi üyelerinin DPT desteği ile yapmış oldukları bilimsel ziyaretlerde bu laboratuvarların hızlandırıcı yapıları dışında uygulama alanları da incelenmiştir.

4 Ağustos–7 Eylül 2007 tarihleri arasında Almanya’ nın Berlin şehrinde bulunan BESY Laboratuvarı tarafımdan ziyaret edilmiştir. Laboratuvarda sinkrotron ışınımının elde edilmesi incelenerek bu ışınımın kullanıldığı kullanıcı laboratuvarları yerinde incelenmiştir. Yapılan mikroskopi ve spektroskopi çalışmalarında SEL’ in kullanılabilirliği araştırılmıştır. 15 Kasım-15 Aralık 2007 tarihleri arasında İsviçre’ nin Cenevre şehrinde bulunan CERN Avrupa Nükleer araştırma Merkezi tarafımdan ziyaret edilmiştir. Hızlandırıcı tipleri ve hızlandırıcılarda kullanılan yapılar araştırılmıştır. Toplanan bilgiler tezde kullanılmıştır.

4. BULGULAR

4.1 Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin Kullanım Alanları

Serbest Elektron Lazerleri; ayarlanabilirlik, yüksek pik gücü, yüksek parlaklık ve kısa atmalar üretmesi gibi avantajlarından dolayı oldukça geniş ve çeşitli uygulama alanına sahiptir. Çizelge 2.2' de geleneksel lazerlere göre SEL' in üstünlükleri verilmiştir.

Dünya' da pek çok uygulamalarda kullanılan 50 civarında çalışır durumda ve yaklaşık 15 civarı kurulması planlanan serbest elektron lazeri merkezi bulunmaktadır. Çalışır durumda olan bu merkezlerden 10 taneden fazlası kırmızıaltı bölgede ana uygulama alanına sahiptir.

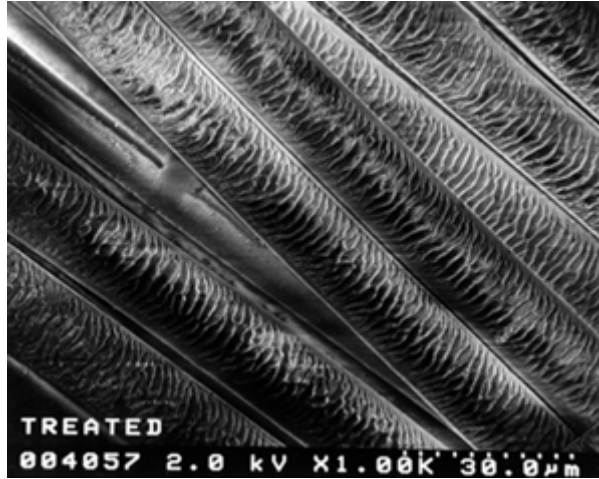
Bu çalışmada kırmızıaltı serbest elektron lazerlerin sahip olduğu geniş kullanım alanları; biyoteknoloji, fotokimya, malzeme ve nanoteknoloji ana alanları altında incelenecektir.

4.1.1 Kırmızıaltı SEL' in endüstriyel alanda uygulamaları

SEL, mikro yüzey-işlemelerini kolaylaştırması nedeni ile endüstriyel uygulamalara açıktır. Endüstri ölçekli yüzey işleyici serbest elektron lazerlerinin gelişimi ile pürüzsüz yüzeylerin elde edilmesi daha kolay olmaktadır. Pürüzsüz bir yüzey; sürtünmeyen, ısınmayan, kirlenmeyen, hastalık üretmeyen bir yüzeydir. Tıptan, ev eşyasına saymakla bitmeyecek kadar çok kullanım alanı vardır. Yağmur damlalarının tutunamadığı ve kolay kirlenmeyen araba camlarını, geleneksel lazerler ile basit uygulamaları yapılmakta olan bu yöntem serbest elektron lazerinin de büyük katkısı olacaktır. Yüzeylerin pürüzsüzleştirilmesi tekniğinde yüzey öncelikle Cl₂ gibi bir buhar ortamına konur ve lazer ışınımına maruz bırakılır. Yüzeyde oluşan bölgesel ısınma ile kazıma tepkimesi başlar. SEL' in ayarlanabilir dalgaboyuna sahip olması kullanılan buhar malzemesinde serbest radikallerin oluşmasına kolaylık sağlamaktadır. Yerel ısınmalar sonucu oluşan serbest radikaller yüzey ile bileşikler yaparak kopmalara yol açar. Tüm yüzeyin lazer ile taranması yüzey üzerinde düzleşmelere neden olur. SEL' in

ayarlanabilir dalgaboyuna sahip olmasının yanında Çizelge 2.2' de geleneksel lazerler ile karşılaştırılan pik gücünün yüksekliği kazınma tepkimesinin hızını arttırmaktadır. Böylece işlem daha kısa zamanda yapılabilmektedir. Pürüzsüz yapısı yüzünden anti bakteriyel olarak her türlü muhafaza malzemesinin üretimi sağlanabilmektedir. Üretilen bu muhafaza malzemeleri, nakliyatta da kolaylık sağlamaktadır. Malzemeler; uzun süre bozulmadan kalabilmektedir (Minehara 2002).

Yüzeyin pürüzsüzleştirilmesinin yanında, pürüzlendirme de SEL kullanılarak aynı şekilde yapılan bir uygulamadır. Farklı olarak, bu çalışmada SEL kazınma tepkimesini arttırmak yerine biriktirme tepkimesini başlatmak üzere kullanılır. SEL ile taranan yüzeyde küçük bir nokta üzerinde biriktirme tepkimesini başlatır. Ardından istenilen başka bir noktada biriktirmeyi sağlama üzere ışın başka noktalara yönlendirilir. Bu teknikte lazerin gücüne bağlı olarak yüzeyde yerel olarak amorf ya da kristal yapılaşmaların oluşumu mümkündür.



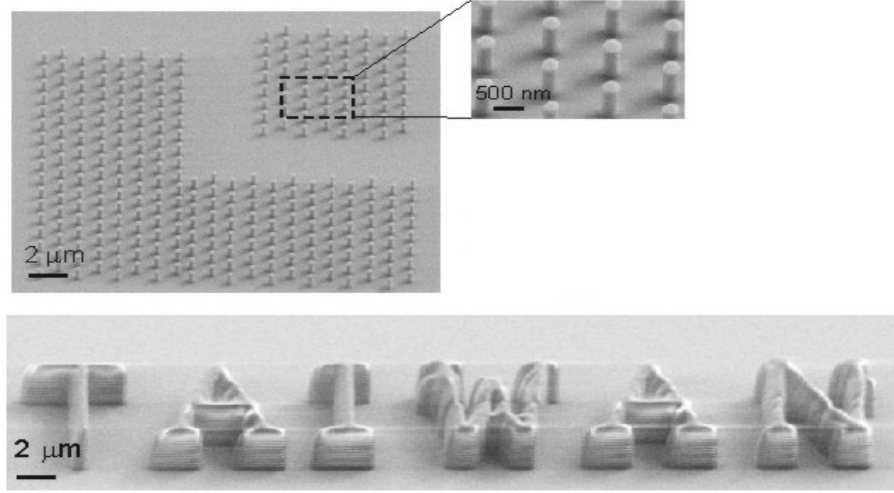
Şekil 4.1 Yüzeyi SEL ile pürüzlendirilmiş polyester kumaş (Ayvazyan 2002)

Şekil 4.1' de elektron mikroskobu görüntüsünde lazer ile yapay olarak pürüzlendirilmiş polyester kumaşı görülmektedir. Bu tür lazer müdahaleleri ile polyestere farklı sürtünme, filtreleme, ıslanma ve görünüm özellikleri SEL ile kolayca kazandırılabilir. Özellikle çelik işlemede üretilen malzemenin gerekli özelliklere sahip olması büyük önem taşır. Kullanım şartlarına göre malzemelerin üstün dayanıklılık özelliklerine sahip olması gerekebilir. Askeri sanayi başta olmak üzere zor koşullarda dayanıklılık sınırları

normalin çok üstünde olacak malzemelerin geliştirilmesine önem verilmektedir (Ayvazyan 2002).

SEL ile elektronik baskı devrelerinde kullanılan bakır plakalara çok ince elektriksel yollar açılması mümkündür. Lazerlerin şiddeti sahip oldukları güç ile orantılıdır. Çizelge 2.2' de verildiği gibi geleneksel lazerler kW mertebesinde pik gücüne sahip iken SEL, MW mertebesinde pik gücüne sahiptir. SEL' in sahip olduğu yüksek pik gücü ve ayarlanabilir dalgaboyu ile ince yollar açılması, bakır plakalar üzerinde yol dışında kalan kısmın aşındırılması ile gerçekleştirilir. Bu enerji tasarrufu hem de malzeme boyutlarının azalmasından dolayı üretim maliyetinde düşme sağlar. Geleneksel lazerlere kıyasla istenilen boyutta aşındırma ile malzeme kaldırılması yapılmakta ve kalan malzeme daha az hasar görmektedir.

Yüzey çalışmalarında ve ince film kaplama tekniklerinden biri dönel kaplama yöntemidir. Teknikte; sıvı fazdaki polimer malzemesi hızla döndürülmekte olan plakanın üzerine merkezden damlatılır ve sıvının ince bir film halinde yüzeye yayılması sağlanır. Daha sonra bu polimer katmanı SEL ile ışınlanır. Bu ışınlama işlemi için, daha önceden bilgisayarda hazırlanan ve yüzeyde oluşturulacak deseni içeren bir maske kullanılır. SEL ile tarama yapılarak maskenin kapattığı kısımların ışımaya maruz kalması önlenir. Işınımına maruz kalan polimer ise kimyasal değişime uğrar. Plakanın bir kimyasal çözelti içinde banyo edilmesi ile değişikliğe uğramış polimer malzemesi erir ve geriye maskenin etkisi ile SEL' den etkilenmeyen kısım geriye kalır. Bu çalışmaya bir örnek Şekil 4.2' de verilmiştir (Ostendorf 2006).



Şekil 4.2 Deneme amaçlı üretilen numunelerin resimleri (Ostendorf 2006)

4.1.2 SEL' in araştırma alanında uygulamaları

Yapılan çalışmada bilimsel alandaki bu uygulamalar biyomedikal uygulamalar, malzeme ve nanoteknoloji uygulamaları ve fotokimya uygulamaları başlıkları altında gruplandırılmıştır.

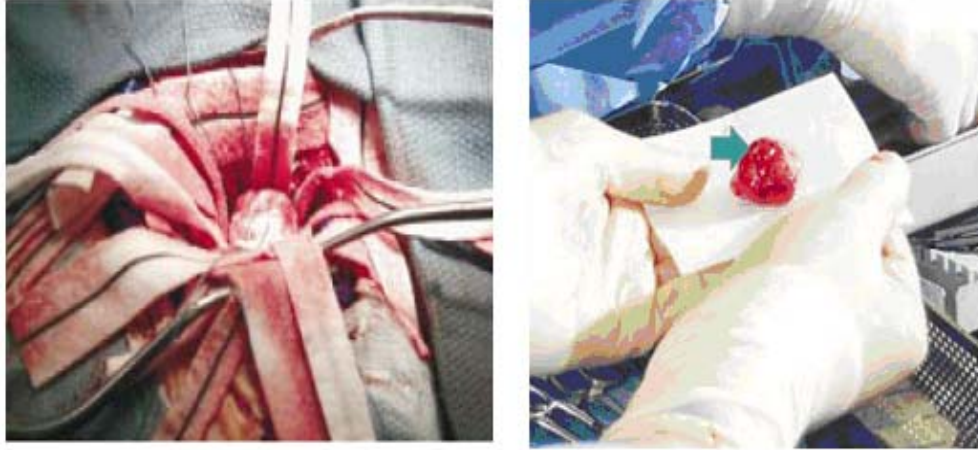
4.1.2.1 Serbest elektron lazerinin biyomedikal ve biyoteknoloji uygulamaları

Biyomedikal ve biyoteknoloji alanında SEL'ler; fototermal etkilerle kanserli dokunun kesilip çıkarılması, seçilen bölgeden kolesterolün temizlenmesi, fotomekanik etkilerle sert dokuların kaldırılması, fotokimyasal etkilerle de bir yüzeyin yeniden yapılandırılmasında kullanılır.

Moleküllerde bağ boyu titreşimleri kırmızıaltı bölgede yer almaktadır. Bir bağı kırılabilmesi için o bağı ait titreşime karşılık gelen dalgaboyunda ışına kullanılır. SEL ile istenilen kırmızıaltı dalgaboyunda güçlü ışına elde edilerek doku, kemik vb. gibi oluşumlar molekül boyutunda bağlar kırarak da kesilebilir. SEL' in atmalı yapıya sahip olması nedeni ile bu işlemde güç kontrolü, sürekli atmaya sahip olan CO₂ lazerlere göre daha kolaydır ve kesi çevresi daha az hasar görür.

6.45 yumuşak doku kesikleri için uygun bir dalga boyudur. Tıbbi uygulamalarda Vanderbilt niversitesindeki alışmalar, 6.45 μm dalga boyunun proteinlere bağlı olan amide II grubunun soğurma bandına karşılık geldiğini ve bu grubun koparıl原因 olarak yumuşak doku kesiklerinin gerçekleştirilmesi için uygun olduğunu göstermiştir (Robbins *et al.* 2001). Bu dalga boyunda kanserli dokunun kesilip çıkarılması işlemi yapılabilmektedir.

şekil 4.3’ de 6.45 μm dalgaboyuna sahip SEL kullanılarak kanserli dokunun kesilip çıkarılması verilmiştir. Sol resimde keşi çalışmasının yapıldığı bölge, sağ resimde ise o bölgeden kesilerek çıkarılan doku verilmiştir.

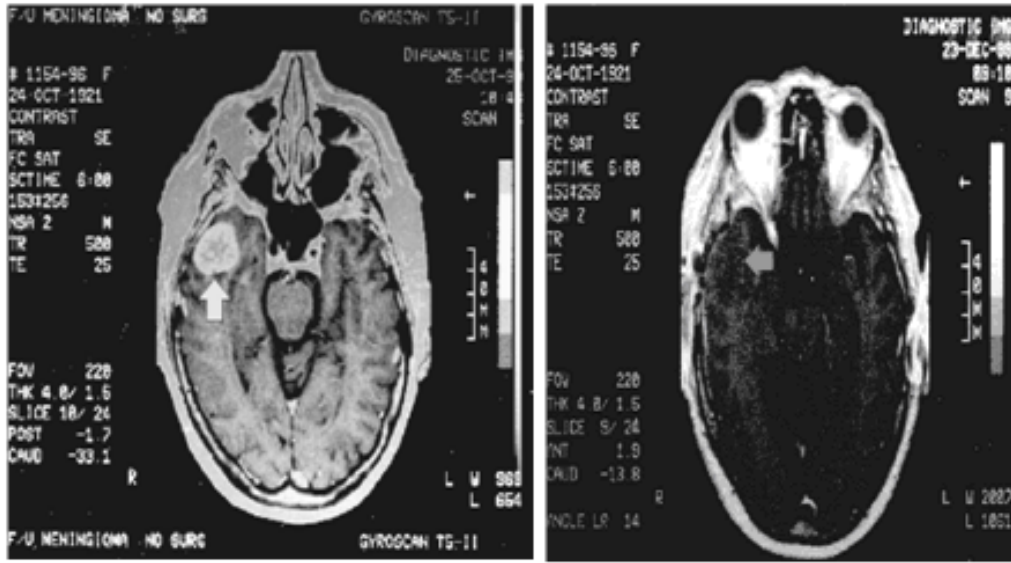


şekil 4.3 Kanserli dokunun kesilip çıkarılması (Mackanos *et al.* 2007)

Bu çalışmalarda ilk olarak Mark III SEL’ den elde edilen, 6.45 μm dalga boyuna sahip ışınım kullanılmıştır. (Mackanos *et al.* 2007).

Yine 6.45 μm dalga boyunda SEL ile optik sinir zarlarında, yanında bulunan optik sinir kesilmeden, başarılı kesiler oluşturulabilmektedir. Bu alışma Vanderbilt niversitesinde tavşanlar üzerinde denenerek SEL ile tavşanların optik sinir zarlarında, yanında bulunan optik sinir kesilmeden, başarılı kesiler oluşturulabilmiştir. SEL ile insanlı oküler tedavi, standart tekniklerle karşılaştırıldığında SEL ile optik sinir zarı tedavisi Vanderbilt niversitesinde halen kullanılmaktadır. Göz sinir zarının tedavisi bu tedavilere bir örnektir (Hutson *et al.* 2004).

İlk insanlı SEL araştırması bir beyin tümörünün biyopsiydi. Yine 6.45 μm ' de beyinde bulunan bir tümörün, çevresinde bulunan diğer hücrelerle etkileşmesi en az olacak şekilde ışınlanması ile bu hücrenin buharlaştırılarak yok olması sağlanmaktadır. Bu yöntemde buharlaştırmaya neden olan, SEL' in yüksek enerjisidir. Şekil 4.4' de tümör bulunan bir beyin MR' ı görülmektedir. Bu tümörlü hücre bir hafta boyunca SEL ile 6.45 mikronda ışınlanarak bu hücrenin buharlaştırılması sağlanmıştır. Şekil 4.4' de sağ tarafta aynı organın bir hafta SEL' ışınlamasına maruz kaldıktan sonraki MR'ını göstermektedir. Tümör tamamıyla yok olmuştur (Edwards *et al.* 2003).

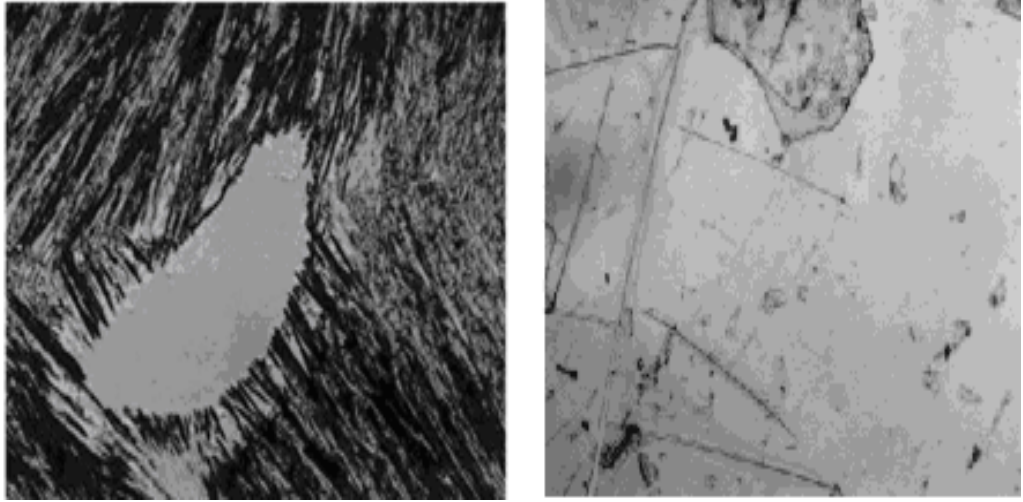


Şekil 4.4 SEL ışınımına maruz kalan beyin tümörünün MR ile görüntüsü (Edwards *et al.* 2003)

SEL'in biyomedikalde bir diğer kullanım alanı da dişçiliktir. Diş minesini insan vücudunda bulunan en sert dokudur. Bu dokunun %95 i polikristal şeklinde hidroksiapatit (HAp), %4 i su ve %1 de organik molekül içermektedir. HAp'nin kimyasal formülü, $\text{Ca}_{10}(\text{Pa}_4)_6(\text{OH})_2$ şeklindedir. HAp'nin soğurma spektrumu 10 mikron civarındadır. Kırmızıaltı SEL ile diş minesinin ışınlanması ile HAp içinde sıkışmış olarak bulunan su molekülleri buharlaşmakta ve bu esnada mikropatlamlar meydana gelmektedir. Lazerin enerjisine de bağlı olarak mine üzerinde pürüzlenme ve düzensizlik meydana gelmektedir. Daha sonra bölgesel olarak SEL ile ışınlanan diş yüzeyi üzerinde, ışınımın etkisi ile fosfor iyonlarının düzeyi artar. Kalsiyum iyonları ile birleşen fosfor iyonları yeniden hidroksiapatit kristallerini oluşturur. Bu durum yeniden

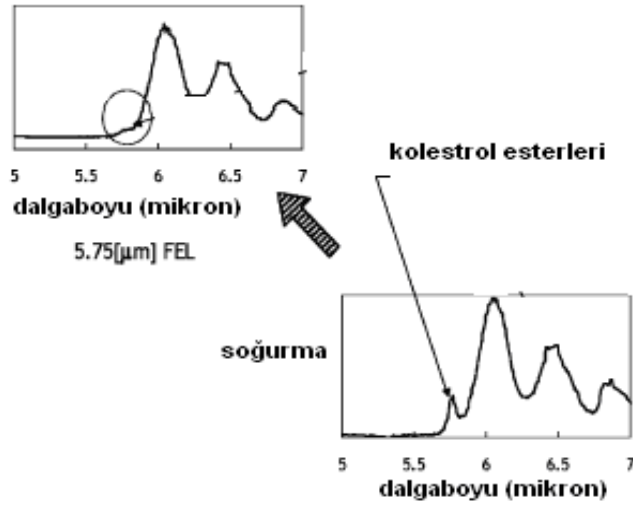
mineralizasyon olarak adlandırılır. Hidroksiapatit kristalleri mine üzerinde bulunan kollajen liflere sıkıca yapışır. Böylece kemik betonarme bir görünüm alır. Kollajen lifler kemiğin esnekliğini, hidroksiapatit kristalleri ise sertliğini sağlar. Dişin yeniden mineralizasyonu ile sertlik derecesi bozulan diş minesinin tekrardan sertleştirilmesi sağlanır. Yapılan diş yüzeyinin ışınlanması çalışmalarında CO₂ gibi atma süresi uzun olan lazerlerin örnek üzerinde ciddi bir termal etkiye neden olduğu görülmüştür. Er: YAG lazerler kullanılarak yapılan bir çalışmada ise ışınımın diş yapısında bulunan suyun soğurma spektrumu ile mükemmel bir uyum gösterdiği gözlenmiştir. Ancak bu sefer de suyun aniden gaz haline gelmesi HAp kristalinde kopmalara neden olmuştur (Junbiao *et al.* 2001). Bu nedenle bu tür lazerlerle diş çalışmalarında çok verimli sonuçlar alınamamıştır (Satoh *et al.* 2004). Bunun dışında 9.4 µm soğurma dalga boyuna ayarlanan SEL'in dişteki etkileri araştırılmaktadır. Bu dalga boyu, diş üzerinde bulunan fosforik asidin bağ titreşimi ile uyumlu olduğundan diş üzerinden bu yapının kaldırılması yapılmaktadır.

Biyoteknoloji alanda yapılan çalışmalardan bir başkası ise kolesterolün temizlenmesidir. Kolesterol esterlerini damarlardan çıkarmak çok kolay değildir. Bunun sebebi esterlerin atardamar girişlerinde yağ asitlerine çok sıkı ve karmaşık bir şekilde bağlı olmasıdır. 5.75 µm dalga boyu kolesterol esterlerinin germe modudur. Tavşanlar üzerinde yapılan araştırmada kolesterol esterleri, albüminler ve atardamar duvarları 5.75 µm ile ışınlanarak etkileri incelenmiştir. Bu incelemede albüminlerin ve atardamar duvarlarının hasar görmediği, sadece kolesterol esterlerinin ayrıldığı gözlenmiştir (Awazu *et al.* 2003). Bu yöntemler için kullanılan lazerler genelde UV uyarıcılı, CO₂ lazerlerdir. Ancak bu lazerlerin kullanımı hem zahmetli hem de kolesterolün çıkarılması sırasında çevresindeki dokulara zarar vermektedir. SEL' in ayarlanabilir dalgaboyuna sahip olması ve ns mertebesinde kısa atmalara sahip olması ışınlama neticesinde, kolesterol esterlerinin yanında bulunan albüminlere ve atardamar duvarlarına hasar vermemektedir.



Şekil 4.5 5.75 μm SEL ile ışınlanmış kolesterol ve albümin (Awazu *et al.* 2003)

Şekil 4.5’ de 5.75 μm KA-SEL ile ışınlanmış kolesterol ve albümin görülmektedir. Bu dalga boyunda, kolesterol esterlerinde ayrılma gözlenirken albümin yapısında herhangi bir değişiklik olmadığını göstermektedir. Şekil 4.6’ da ise insan atardamarının soğurma spektrumu görülmektedir. Işınlamadan önce kolesterolün bulunduğu, ışınlamadan sonra kolesterolün kalmadığı spektrumdan görülmektedir.



Şekil 4.6 İnsan atardamarının soğurma spektrumu (Awazu *et al.* 2003)

4.1.2.2 Serbest elektron lazerinin fotokimya uygulamaları

Spektrumun 3- 90 μm dalga boyu aralığı, kırmızıaltı bölgede kimyasal bağları titreşim bölgesine düşmektedir. Serbest elektron lazerleri fotokimya alanında genel olarak; yoğun madde ve gaz-faz fiziği çalışmaları, değişik ortamlardaki moleküllerim titreşim dinamiklerinin incelenmesi, kütle spektroskopisi için iyon oluşturmak gibi birçok araştırma alanlarında kullanılmaktadır (Cuisset *et al.* 2000).

Kırmızıaltı çoklu foton iyonizasyonu, kütle spektroskopisinde spektrometreye girecek iyon sayılarını arttırmaktadır. Kırmızıaltı SEL ile molekülün ışınlanması molekülde iyonlaşmaya neden olur. Oluşan iyonlar yeni iyonlaşmalara neden olurken, bu iyonların da kırmızıaltı ışınımına maruz kalması bir süre sonra çoklu foton yayılımına neden olur. Bu iyonların kütle spektrometresi ile ölçümü yapılabilir ve molekülü oluşturan iyonlar hakkında bilgi elde edilir (Redlich 2005).

KA-SEL' in kullanıldığı diğer bir alan da ince filmlerdir. Polietilen glikol (PEG) ince film üretiminin temelinde, yüksek enerjili bir lazer demetinin bir hedef malzeme üzerine odaklanması ve kısa süreli atmalarla bu hedef yüzeyinden plazma oluşumuna olanak verecek kadar enerjiye sahip küçük patlamalar şeklinde malzeme kaldırılması yatmaktadır. Kırmızıaltı SEL ile ışınlanan hedef malzeme üzerinden kaldırılan bu malzemeler hedef karşısına yerleştirilmiş bir yüzeyde biriktirilir ve bu şekilde kaplanacak yüzeyde ince film üretimi yapılmış olur. SEL ışınımın atması, PEG' de bulunan O-H' nin bağ boyu olan 2.9 μm ' ye ve C-H' in bağ boyu olan 3.4 μm ' ye ayarlanır. Bu dalgaboyunda hedef malzemedeki kopmalarla elde edilen ince filmler, biyomedikal uygulamalarda kullanılan çok önemli bir polimerdir. Doku mühendisliği, ilaç kaplama bu ince filmlerin kullanıldığı uygulamalardan bazılarıdır (Bubb *et al.* 2001).

Orta kırmızıaltı SEL ile yapılan başka bir çalışma da silisyum (Si) atomunun izotoplarına ayrılmasıdır. Silisyum izotopları, yeni elektronik cihazların gelişimi ile ilgili çalışmalara olanak sağlamaktadır. Tokyo' da bulunan FEL- SUT merkezinde kırmızıaltı aralıkta SEL' ışınım kullanılarak yapılan silisyum izotoplarının ayrılması

çalışmaları bu çalışmalara bir örnektir. Bu çalışma için 9-11 µm aralığında SEL ışınımı kullanılmaktadır. Kullanılan mikroatmalar 2 ps atma uzunluğuna ve 5 Hz tekrarlama frekansına sahiptir. Makroatmalar ise 2 µs atma uzunluğuna ve 2856 MHz tekrarlama frekansına sahiptir. İlk olarak doğada katı halde bulunan Si atomları Ph- SiF₃ (phenyltrifluorosilane) 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 içerisinde iyonlaşma meydana gelir. Daha sonra kütle spektrometresi kullanılarak gazın içerisinde bulunan iyon haldeki molekülden Si-28, Si-29 ve Si-30 li Ph-SiF₃ ler birbirinden ayrıştırılır. Bundan sonra kimyasal yöntemlerle her Ph-SiF₃ deki Si izotopu ayrıştırılır (Chernyshev 2001).

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 direk olarak 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 kinematığı hakkında bilgi vermektedir. Titreşimsel uyarılmaların derecesi moleküllerin kimyasal reaktifliğini etkilemektedir. Titreşimsel durulma hızı, lazer ile uyarılmış yüzey olayları ile ilişkilidir. Yoğun madde ve gaz fazındaki titreşimsel enerji durulmasının pikosaniye zaman skalasında olduğu bilinmektedir (Tro *et al.* 1989).

4.1.2.3 Kırmızıaltı SEL' in malzeme ve nanoteknoloji uygulamaları

Yarıiletkenlerde ve süperiletkenlerde spektroskopik uygulamalarda SEL ışınım kaynağı olarak kullanılmaktadır. SEL' in ayarlanabilir dalgaboyunun yanında sahip olduğu yüksek pik gücü, klasik lazer kullanımının çok kolay olmadığı lineer olmayan spektroskopi çalışmalarına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmalar malzemenin yapısını anlamaya ve farklı özelliklerin tahmininde kullanılan yeni modellere yarar sağlamaktadır.

Kırmızıaltı SEL' in bu alanda kullanıldığı başka bir çalışma ise yarıiletkenlerde bant içi yük taşıyıcıların durulma zamanlarının araştırılmasıdır. Kırmızıaltı SEL' in ayarlanabilir dalga boyu, foto yayılım tekniğinin kullanıldığı yarıiletken ara yüzlerinde bant süreksizliklerinin çalışılması için üstünlüktür. Bu teknikte SEL' den alınan ışınım bant süreksizliklerinin neden olduğu enerji engelini geçebilmek için elektronların pompalanmasında kullanılmaktadır (Stehr *et al.* 2007).

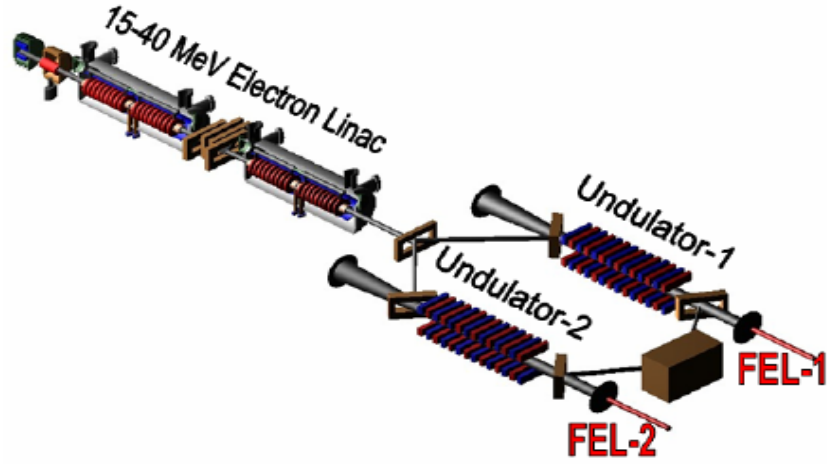
SEL' in bu alandaki ilginç uygulamalarından bir diğeri ise fotoiletkenlik ve soğurma ölçümleri için kullanılan doğrusal bant-aralık yarıiletkenlerinin incelenmesidir. SEL ışınımı kullanılarak, ps zaman skalasında yapılan pompa-sonda ölçümleri ile dar bantlı yarıiletkenler üzerindeki eş fazlı geçiş etkilerinin artışının gözlenmesine izin vermektedir. Ayrıca yine pompa-sonda tekniği ile elde edilen iki renkli SEL'in kuantum kuyularının optik pompalanması ile yapılan çalışmalar da bulunmaktadır.

Bir spektroskopik yöntem olan "Sum Frequency Generation" (SFG) Toplam Frekans Oluşumu yüzeylerde katılanmış olarak bulunan yabancı maddelerin analizinde kullanılır. SFG ölçümlerindeki ilk deneyler, 5 µm SEL atmaları ile metanol içerisine konan platinin (Pt) yüzeyinde meydana gelen olaylar incelenmektedir (Vidal 2005).

4.2 THM KA-SEL' in Uygulama Potansiyeli

Ülkemizde kurulması planlanan ve Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından desteklenen Türk Hızlandırıcı Merkezi Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazeri (THM KA SEL) 15- 40 MeV' lik bir elektron lineer hızlandırıcısından ve iki optik rezonatörden oluşmaktadır. Bu optik rezonatörler uzunluk olarak eşit olmasına rağmen farklı salındırıcılara sahiptir. Salındırıcılardan birinin periyodu 3 cm diğeri periyodu ise 9 cm dir. Bu salındırıcılardan 2-185 mikron dalgaboyu aralığına sahip ışınım elde edilmesi öngörülmektedir.

Ankara Üniversitesi' nin Gölbaşı'nda bulunan kampüsünde kurulması planlanan THM KA SEL' in hızlandırıcısının şematik görünümü Şekil 4.7' de verilmiştir (<http://thm.ankara.edu.tr>, 2008)



Şekil 4.7 THM KA-SEL' in şematik görünümü (<http://thm.ankara.edu.tr>)

Türk Hızlandırıcı Merkezi Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazerinin, elektron demeti parametreleri Çizelge 4.1' de ve lazer parametreleri Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.1 THM KA-SEL elektron demeti parametreleri

Demet enerjisi (MeV)	15 – 40	15 – 40
Paketçik yükü (pC)	80	120
Paketçik uzunluğu (ps)	1 – 10	1 – 10
Mikro paketçik uzunluğu (ns)	77	77
Makro atma süresi	CW, ayarlanabilir	CW, ayarlanabilir
RMS Normalize boyuna emittans (keV ps)	100	100
RMS Normalize enine emittans (mm mrad)	15	15
Clystron (kW)	10	16
Ortalama akım (mA)	1	1.6

Çizelge 4.2 THM KA-SEL lazer demeti parametreleri

	SEL 1	SEL 2
Dalgaboyu (μm)	2- 27	10- 185
Atma enerjisi (μJ)	0.01- 3	0.01- 4
Max. pik gücü (MW)	8	10
Atma uzunluğu (ps)	1- 10	1- 10

4.2.1 Deney istasyonlarının yapısı

THM KA SEL' den elde edilecek 2- 185 µm dalgaboyu aralığına sahip ışınım optik düzenekler ile deney odalarına taşınacaktır. Merkezde 8 deney odasının olması planlanmaktadır. Kurulması planlanan 8 deney odasında yapılması öngörülen araştırma ve geliştirme çalışmaları şu ana başlıklar altında sıralanabilir:

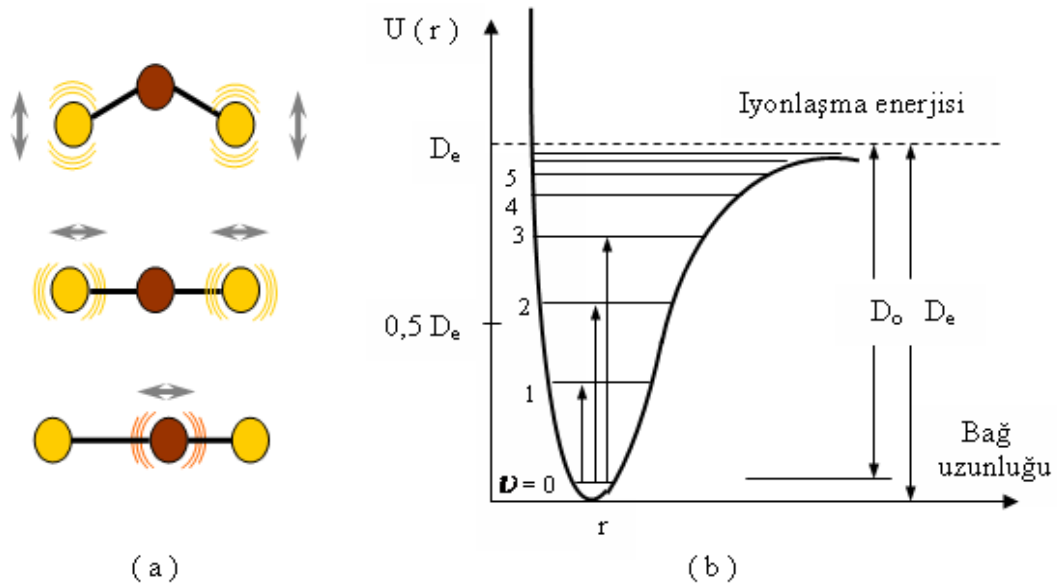
- Foton Bilimi
- Malzeme bilimi
- Yarıiletken çalışmaları
- Biyoteknoloji ve medikal araştırmalar
- Lineer olmayan optik araştırmaları
- Nanoteknoloji
- Fotokimya çalışmaları

Sekiz deney odasından ilki diyagnostik çalışmaların yapılacağı odadır. Diyagnostik odasında SEL fiziği çalışmaları yapılacak olup, teşhisi yapılan lazer ışınımı daha sonra diğer yedi deney odasına, kullanıcılara gönderilecektir. Bu yedi deney odasının ilk ikisi malzeme ve yarıiletken araştırmalarında kullanılan spektroskopik ve mikroskopik tekniklerin uygulanacağı odalar olacaktır. Diğer beş deney odası ise kullanım potansiyeline ve kullanıcı ihtiyacına göre şekillendirilecektir. Her bir deney odasının alanı 35 m²' dir. THM KA-SEL laboratuvar binasının ve deney odalarının planı EK 1' de ve EK 2' de verilmiştir.

4.2.2 Kırmızıaltı spektroskopi laboratuvarı I

Fiziksel bir tekniğin kimyasal analiz amacıyla uygulanmasına dayanan aletli analiz yöntemleri içerisinde en yaygın olan yöntem spektroskopidir. Spektroskopik yöntemlerde maddenin elektromanyetik ışınımı yayması, soğurması, saçması, saptırması ve genel olarak maddenin elektromanyetik ışınımıyla etkileşimi ve bu etkileşimin sonuçları analitik amaçlara dönük olarak incelenir. Kırmızıaltı (KA) spektroskopi tekniği temel olarak KA ışınımının örnek üzerinde soğurulmasına

dayanmaktadır. Soğurma dalgaboyu atomların kütleleri ve bağlar arasındaki kuvvetler ile ilişkilidir. Molekül titreşimlerini germe titreşimi ve bağlanma titreşimi olarak ayırabiliriz. Şekil 4.8’ de görüldüğü gibi germe titreşimi, atomlar arasındaki uzaklığın azalmasına ve ya artmasına neden olacak periyodik hareketlerdir. Oklar titreşimlerin yönünü göstermektedir. Şekil 4.8’ de solda atomlar arasındaki bağ enerjisinin atomlar arası uzaklık ile ilişkisi gösterilmektedir. Atomlar arasındaki bağlanma enerjilerinin de belirli bir sınırı bulunmaktadır. Bu sınır aşıldığında bağda kopma oluşur (Spektral Analiz Yöntemleri ders notları, 2005).

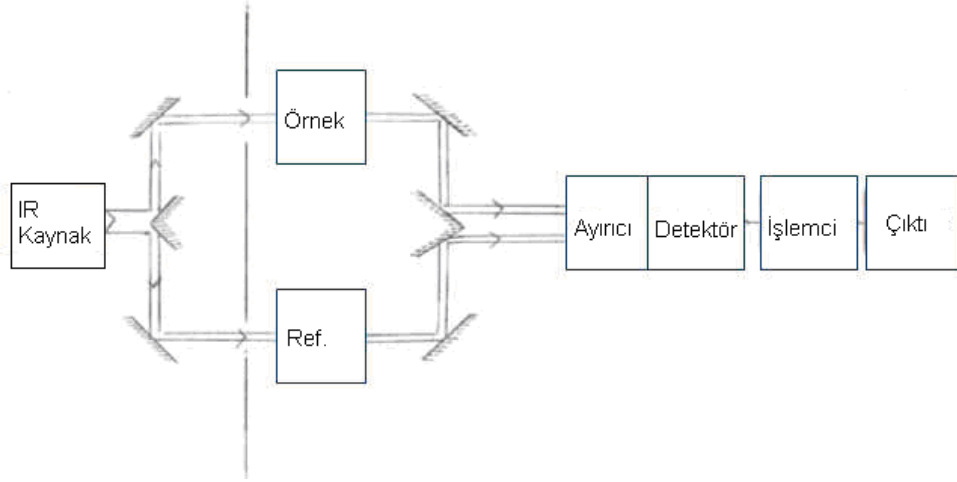


Şekil 4.8.a. Molekül titreşimleri, b. Atomlar arasındaki bağ enerjisinin atomlar arası uzaklık ile ilişkisi (Spektral Analiz Yöntemleri ders notları 2008)

Titreşimin gözlenebilmesi için atomların titreşim hareketi sırasında elektriksel dipol momentinde bir değişim olması gerekir. Bu durum kırmızıaltı aktiflik şartı olarak adlandırılır.

Bir örneğin KA spektrumu, KA ışınımının örnek üzerinden geçmesi ile elde edilmektedir. Geçen ışınımın incelenmesi, her dalgaboyunda ne kadar enerjinin soğurulduğunu ortaya çıkarmaktadır. Bu işlem tek dalgaboylu ışınım ile veya bir defada her dalgaboyunda ölçüm alabilen Fourier Transform spektrometresi ile yapılabilmektedir. Bu şekilde örneğin hangi dalgaboyunda soğurma yaptığı tespit edilmektedir. Çoğu kompleks moleküler yapılar, birden çok soğurma bandına sebep

olmaktadır ve böylece birden fazla kompleks spektrumlar elde edilmektedir. Teknik, genel olarak Şekil 4.9' de gösterildiği gibi uygulanmaktadır.



Şekil 4.9 KA spektroskopisi sistemi (Sherman 2000)

Şekilde görüldü üzere KA kaynaktan alınan ışınım iki farklı ışınım olarak ayrılmakta ve yönlendirilmektedir. Bunlardan birisi örnek üzerine, diğeri ise referans üzerine gönderilmektedir. Referans, genelde örneğin içinde yer aldığı saf çözücüdür. Daha sonra örnek ve referans üzerinden alınan ışınımalar hızlı bir şekilde değişebilen ayırıcı yardımı ile detektöre gönderilmektedir. Böylece iki ışınım karşılaştırılarak çıktısı elde edilmektedir. Kırmızıaltı Spektroskopisi, araştırmalarda ve endüstride ölçüm, kalite kontrol ve dinamik ölçümlerin yapılmasında kullanılan basit ve güvenilir bir tekniktir. Örneğin organik ve inorganik kimyada, yarıiletken çalışmalarında başarılı bir şekilde uygulanmaktadır (Sherman 2000).

Kırmızıaltı lazer Spektroskopisi genelde, sabit frekansta çalışan moleküler gaz lazerleri kullanılarak yapılmaktaydı. Günümüzde hızlı bir gelişme gösteren serbest elektron lazerlerinin, atmalı ve eşfazlı ışınımına geniş bir spektral alalıkta sahip olması KA alanda spektroskopisi çalışmalarında bu lazerlerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

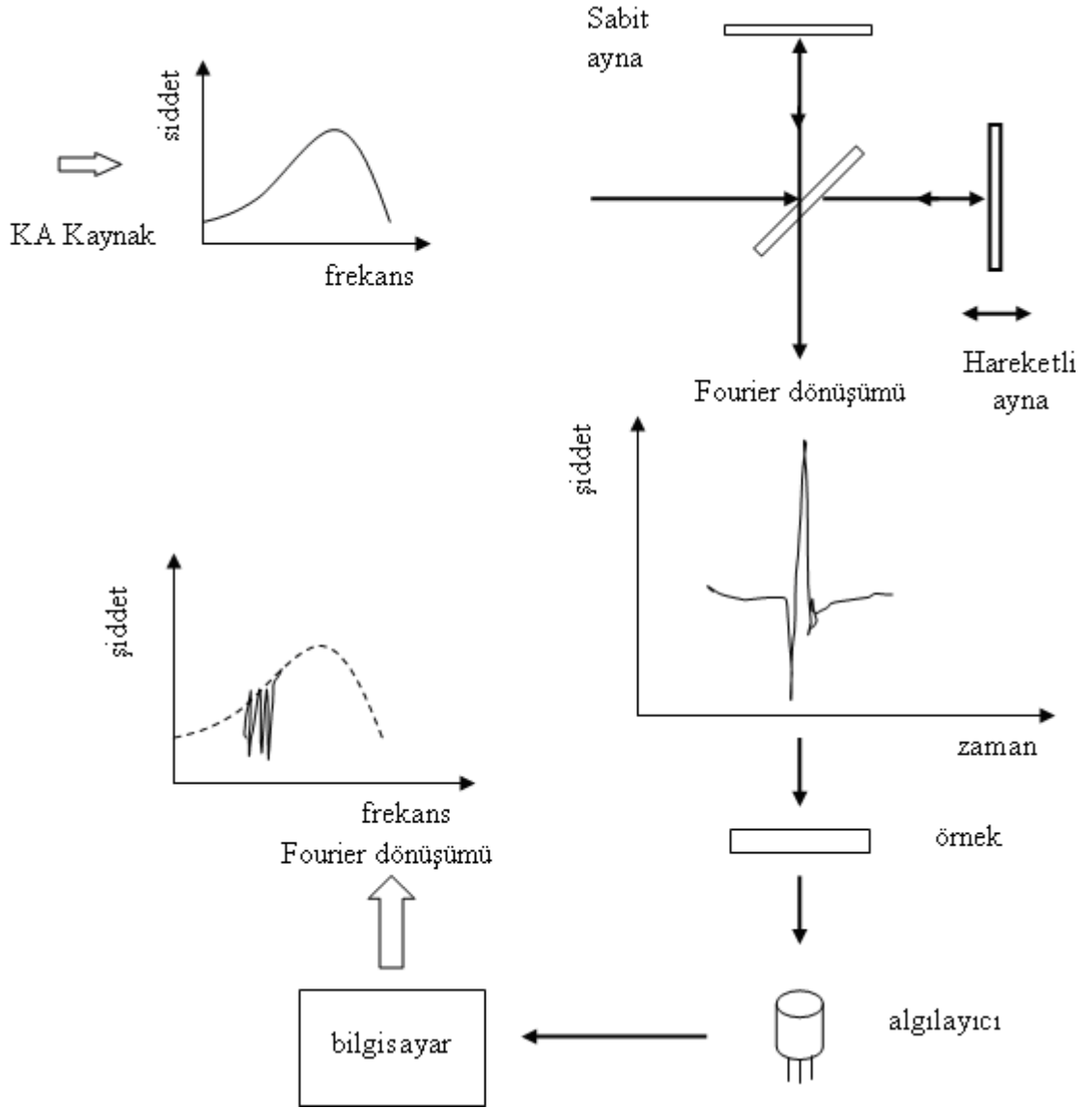
4.2.2.1 FT-IR spektroskopisi

Temelde gerçek bir spektrum her zaman birim frekans aralığında ölçülen ışınım enerjisi olarak verilir. Bu demektir ki, gerçek ışınım alanı ya zamanın bir fonksiyonu olarak $E(t)$

ya da frekansın bir fonksiyonu olarak $E(w)$ tanımlanmalıdır. Bu iki fonksiyon, yani hem zaman uzayında tanımlanan enerji fonksiyonu ile hem de frekans uzayında tanımlanan enerji fonksiyonu birbirlerine Fourier Transform (Fourier Dönüşümü) (FT) ile dönüştürülür. FT'nin çağdaş spektroskopide yaygın olarak kullanılması ile, dönüşüm sadece matematiksel bir olgu olmaktan çıkmış, fizikte ve kimyada bir çok uygulama alanı bulmuştur.

Molekölü oluşturan atomların titreşim hareketinin frekansı, kırmızıaltı bölgesine karşı geldiğini belirtmiştik. Bu hareket veya titreşimler bir elektromanyetik dalgayla etkileşimi sonucu yani kırmızıaltı ışınımı ile rezonansa girerler. İşte FTIR tekniği ise bu ışınımın etkileşmeden önceki şiddetini ve etkileştikten sonraki şiddetini ışınımın frekansı cinsinden hesaplayarak verir. Bu amaçla kırmızıaltı spektrumu, şiddet oranının frekansa olan bağımlılığı ile karşımıza çıkmaktadır. Bu bağımlılıktan örnek içindeki kimyasal bantların analizini yapabiliriz. Bu teknik, şiddetin frekansa bağımlılığındaki değişimi hassas olarak okumamızı sağlamaktadır. Yani diğer tekniklerle algılanamayan veya zayıf bir şekilde algılanan sinyalleri FTIR ile yüksek hassasiyetle ölçmek mümkündür (Martin 2003).

FTIR spektrometresinin temel bileşenini Michelson İnterferometresi oluşturmaktadır. Şekil 4.10' de Fourier transform kırmızıaltı spektroskopisinin şematik görünümü verilmiştir. Kırmızıaltı kaynaktan alınan ışınımın frekansa bağlı şiddeti Michelson İnterferometresi kullanılarak zamana bağlı şiddete dönüştürülür. Başka bir deyişle, frekans uzayından zaman uzayına fourier dönüşümünün gerçekleşmesidir. Hareketli aynanın hareketine bağlı olarak çok sayıda örnekleme yapılır. Örnek üzerinden geçirilen ışınım algılayıcı tarafından algılanır. Bu ışınım daha sonra bilgisayar ile ters Fourier dönüşümü uygulanır ve ışınım tekrardan frekansa bağlı şiddete dönüştürülür.



Şekil 4.10 FT-IR spektroskopisinin şematik görünümü (Spektral Analiz Yöntemleri Ders Notları 2008)

FT-IR spektroskopisinin akademik ve endüstriyel araştırmalarda geniş uygulama alanları vardır. Örneğin molekül yapılarının açıklanmasında, karışım yapılarının incelenmesinde, molekül etkileşimlerinin anlaşılmasında, katı yüzeylerin nümerik değerlerinin hesaplanmasında kullanılır. Genel kullanım alanı şu şekilde verilmiştir.

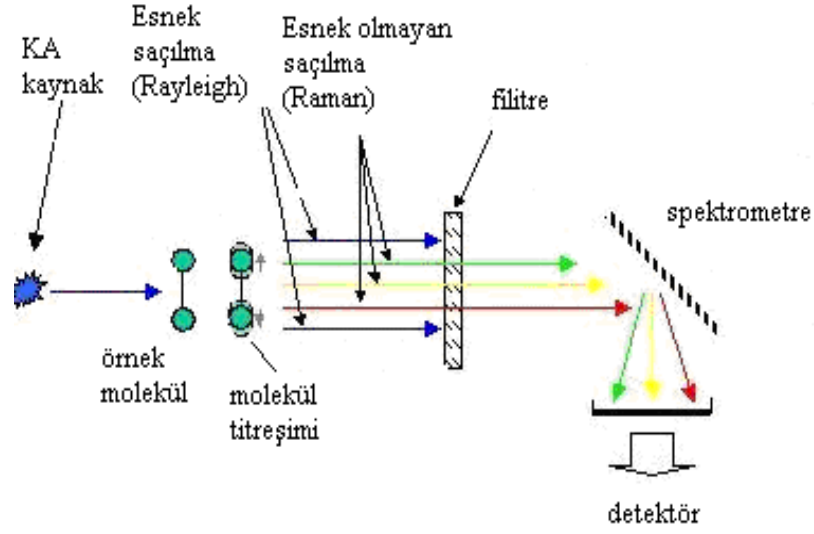
- Zirai ve tarımsal araştırmalar
- Gıda ve içecek alanları
- Mikrobiyoloji, ilaç geliştirme ve bakteriyoloji gibi yaşamla ilgili bilim dalları

- Mikro analiz
- Nükleer güç endüstrisi
- Kağıt endüstrisi
- Polimerler
- Analitik işlem teknolojileri
- Proses kontrol
- Geri dönüşüm endüstrisi
- Yüzey bilimi

4.2.2.3 Kırmızıaltı Raman spektroskopisi

Raman Spektroskopisi; bir numunenin görünür bölge veya yakın-KA monokromatik ışından oluşan güçlü bir ışınım kaynağı ile ışınlanmasıyla numuneden saçılan ışının belirli bir açıdan ölçümüne dayanır. Işının saçılması sırasında saçılan ışığın büyük bir kısmının enerjisi madde ile etkileşen ışığın enerjisine eşit olur. Bir tür esnek saçılma türü olan bu olay Rayleigh saçılması olarak adlandırılır. Esnek saçılma olayının yanı sıra saçılan ışığın çok az bir kısmı esnek olmayan saçılma meydana getirir. Bu olay ise Raman saçılması adını alır. Rayleigh saçılmasında Raman saçılmasına göre 10^4 - 10^5 kez daha şiddetli bir saçılmış ışık oluşur. Ancak Rayleigh saçılması tek bir pik verir ve titreşim geçişleri hakkında bilgi vermez. Raman saçılması sırasında saçılan ışığın enerjisinde molekül ile etkileşen ışığına göre oluşan fazlalık veya azlık ışıkla etkileşen molekülün titreşim enerji düzeyleri arasındaki enerji farkları kadardır. Bu nedenle Raman saçılmasının spektroskopik incelenmesi ile moleküllerin titreşim enerji düzeyleri hakkında bilgi edinilebilir (Georgiou 2002).

Raman spektroskopisi yönteminde, molekül ile etkileşen ışığın dalgaboyuna göre saçılan ışığın dalgaboyunda oluşan farklar ölçülür. Bu farklar Raman kayması olarak adlandırılır.



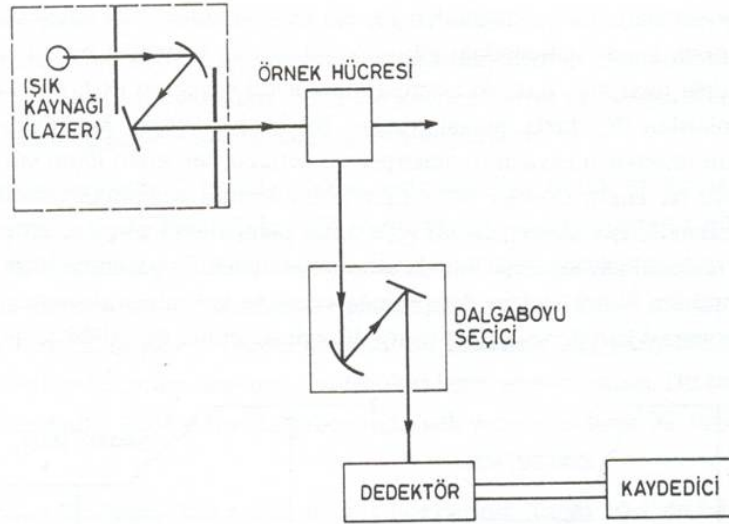
Şekil 4.11 Raman spektroskopisinin şematik diyagramı (Ferraro 1994)

Şekil 4.11 Raman spektroskopisinin temel olarak çalışma prensibi verilmiştir. $h\nu_0$ enerjili ve molekülün soğurmadığı bir foton, molekül ile etkileştiğinde saçılmadan önce foton enerjilerinin bir kısmını moleküllere aktarır veya moleküllerden fotona bir miktar enerji aktarılır. Bu enerji aktarımı olayı sonucu moleküller fotonla etkileştikten sonra farklı titreşim enerji düzeylerinde bulunurlar.

Bir molekülün bir fotonla Raman türü saçılma etkileşmesine girebilmesi için molekülün titreşimi sırasında etkileştiği fotonun elektrik alanı tarafından periyodik ve fotonun frekansına eşit frekanslı olarak kutuplanabilmesi, yani periyodik ve geçici bir dipol momentinin oluşması gereklidir. Raman çizgilerinin şiddeti, titreşen molekülün fotonla etkileşirken oluşan kutuplanma değişim hızının karesi ile orantılıdır.

Normal bir Raman pikinin şiddeti veya gücü, molekülün kutuplanabilirliğine, kaynağın şiddetine, aktif grubun derişimine bağlıdır. Raman çizgilerinin şiddetleri genelde aktif türlerin derişimleri ile doğru orantılıdır. Raman spektroskopisinde kullanılan, alet floresans spektroskopisinde kullanılanlara çok benzer. Bunların aralarındaki en önemli fark ışık kaynağıdır. Raman spektroskopisinde ışık kaynağı olarak genellikle lazerler kullanılmaktadır (Ferraro 1994).

Raman Spektroskopisi deney düzeneği Şekil 4.12' de verilmiştir. Raman spektrometresi temel olarak 3 ana bileşenden oluşur. Bir (ışın) lazer kaynağı, bir numune koruma sistemi ve uygun bir spektrometre. Raman saçılma sinyali Rayleigh saçılma sinyalinden zayıf olduğundan spektrometrenin iyi olması gerekir.



Şekil 4.12 Raman spektroskopisi deney düzeneği

Raman spektroskopisi yöntemi ile katı sıvı ve gaz örnekler incelenebilir. Katı ve sıvı örnekler bir kapiler cam veya kuvarz tüpte tutularak spektrumu çekilir. Lazer ışınması ile temasta olan örnek bozunmuyorsa oluşan yerel sıcaklık artışlarını önlemek için örneğin döndürülmesi veya bir pompadan gönderilen bir sıvı ile soğutulması gerekebilir.

Raman spektroskopisi yöntemi ile daha çok nitel analiz yapılır. Bu amaçla izlenen yol kırmızıaltı spektrumlarının yorumunda izlenen yola benzer. Bir molekülün Raman ve kırmızıaltı spektrumlarının birlikte değerlendirilmesi ile nitel analiz daha kolaylaşır.

Moleküllerin yapısında bulunan $>C=C<$, $-C\equiv C-$, $-N=N-$, $-S-S-$ türü titreşimler ile halkalı bileşiklerde gözlenen halka daralması-halka genişlemesi titreşimi oldukça şiddetli Raman çizgilerinin gözlenmesine yol açar. Böylece kırmızıaltı spektrumunda şiddeti az olan bu bantlar Raman yöntemi ile rahatça ölçülebilir. Raman spektroskopisi inorganik, organik ve biyolojik sistemlerin kalitatif ve kantitatif analizine uygulanır. Kırmızıaltı spektroskopide kullanılan organik çözücüler Raman spektroskopisinde de

kullanılabilir. Ancak bu çözücülerin kendi Raman kaymaları değerlerinin bilinmesi gereklidir. Kırmızıaltı spektroskopisinde çözücü olarak kullanılmayan su, Raman spektroskopisinde sık kullanılır. Su moleküllerinin neden olduğu Raman hatları oldukça zayıftır. Suyun bu yöntemde kullanılabilen bir çözücü olması, birçok biyokimyasal ve farmasotik maddenin nitel analizinde kırmızıaltı yönteminin aksine büyük bir kolaylık sağlar. Raman spektroskopisi yönteminin kırmızıaltı spektroskopisi yöntemine göre bir başka üstünlüğü de aynı aletle hem yakın kırmızıaltı hem orta kırmızıaltı, hem de uzak kırmızıaltı bölgelerindeki bilgilerin elde edilebilmesidir. Bilindiği gibi, kırmızıaltı spektroskopisinde bu üç bölge için aletin parçaların ayrı ayrı özelliklere sahip olması yani farklı spektrometrelerin kullanılması gerekir. Yakın kırmızıaltı ve uzak kırmızıaltı spektrometrelerinin bulunmadığı laboratuarlarda Raman spektrometresi ile gerekli spektroskopik bilgiler edinilebilir.

Raman Spektroskopisinde ışık kaynağının çok şiddetli olması gerekir. Kırmızıaltı SEL' in yüksek akısı ve pik gücü bu ihtiyaca rahatlıkla cevap verebilmektedir. Ayrıca istenilen dalgaboyuna ayarlanabilmesi de yine bu uygulamada SEL kullanımının avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır.

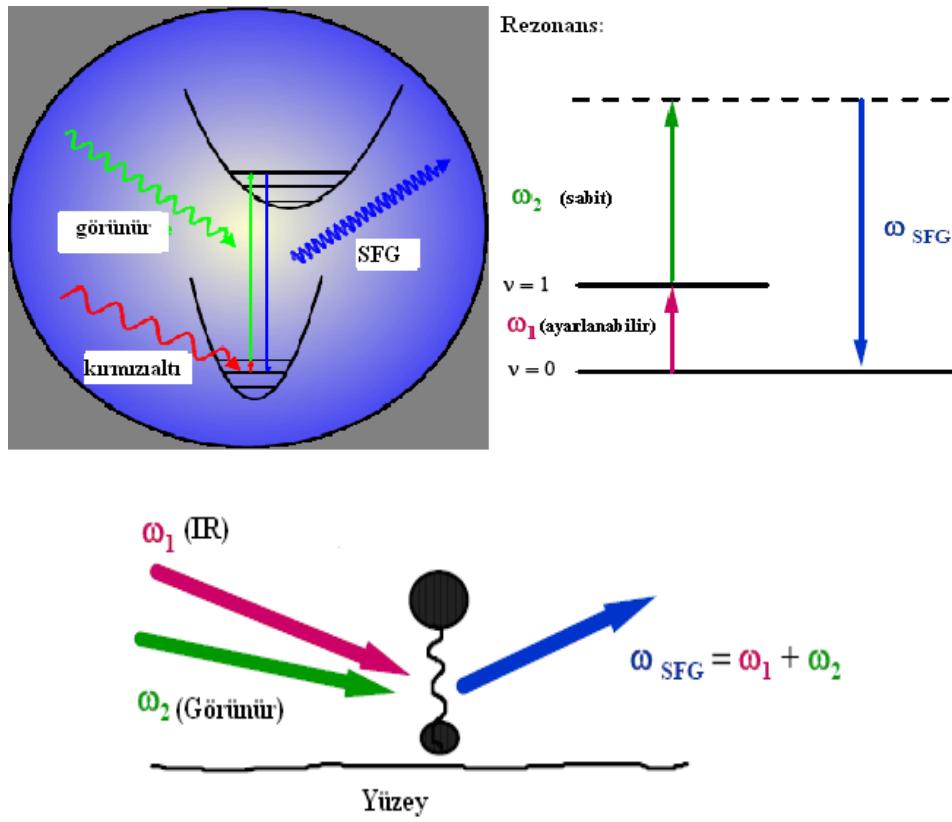
4.2.3 Kırmızıaltı spektroskopi laboratuvarı II

THM kapsamında Türkiye'de kurulması planlanan KA SEL laboratuvarının tasarlanan bir deney odası ise KA Spektroskopi Laboratuvarı II olarak adlandırılmaktadır. Bu odada malzeme ve yüzey fiziği çalışmalarında kullanılacak bazı tekniklerin uygulanması planlanmaktadır. Pompa- sonda tekniği ve toplam frekans tekniği uygulanması planlanan tekniklerden iki tanesidir.

4.2.3.1 Toplam frekans tekniği (SFG)

Lazerlerin kullanılmaya başlaması lineer olmayan optiksel spektroskopi tekniklerinin keşfine sebep olmuştur. Bu tekniklerden biri olan toplam frekans (SFG) tekniği en çok dikkate alınan tekniklerden biridir.

Toplam frekans üretimi, ω_1 ve ω_2 frekanslı iki farklı giriş demetinin aynı ortamda karışması sonucunda $\omega = \omega_1 + \omega_2$ frekansına sahip yeni bir ışınının yaratıldığı süreçtir. Şekil 4.13’ de gösterildiği gibi ayarlanabilir kırmızıaltı ışınım demeti örnek üzerine gönderilir ve örneğin titreşim enerji düzeyleri arasında uyarılması sağlanır. Daha sonra sabit dalgaboyuna sahip bir görünür ışık uyarılmış örnek üzerine gönderilir ve bir üst titreşim enerji düzeyine uyarılır. Son uyarılmış durumdan ilk taban durumuna geçişte salınan ışınım bu iki ışınının toplam frekansına sahip bir ışınımdır. Bu şekilde moleküler titreşim bölgesinde ışınım elde etmek mümkündür (Ortega 2003).



Şekil 4.13 SFG tekniğinin şematik görünümü (Ortega 2003)

Teknik; sıvı-buhar, katı-gaz ve sıvı-katı arayüzey çalışmalarında, yüzeydeki yabancı molekül-arayüzey etkileşmelerinin incelenmesinde kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra bulk malzemenin araştırmaları da yapılabilmektedir. Titreşimsel geçişlerin yanı sıra dış kabuk elektron geçişlerinin incelemelerde de kullanılmaktadır (Barmentlo *et al.* 2001).

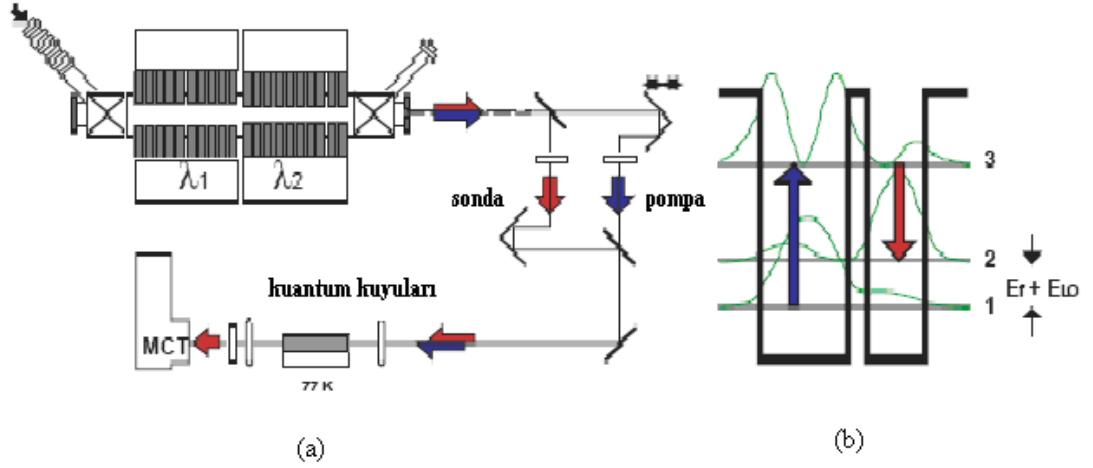
Kırmızıaltı ışınının ayarlanabilir olması ile yüzey üzerinde birden çok tarama yapılabilir. Böylece birbirinden farklı SF sinyallerinin pozisyonlarının kaydı yapılmış olur. Çıkış sinyali olan toplam frekans SF, yüzeyden yansıyan ya da ara yüzeyden bulk kısma geçiş olarak gözlemlenir. Yansıma geometrisi genellikle yüzey çalışmalarında kullanılır. Metal ve yarıiletken yüzeylerdeki katkılanan maddelerin SF spektrumunun özellikleri altta ve katkılanan malzeme tarafından yayınlanan ışınının elektrik alanları arasındaki etkileşimin artmasıyla büyük oranda değişen bir çizgisel dağılım oluşturur. SFG spektroskopisinde çizgi şekilleri genellikle rezonans ve rezonans olmayan sinyallerdeki faz farkından kaynaklanmaktadır. Fazlar, altta ve katkı materyallerin lineer olmayan optik özelliklerine dayanan bir standart model ile hesaplanır.

Toplam frekans üretiminin bir uygulaması, giriş dalgaların birinin sabit-frekanslı görünür lazerin çıkışı olarak diğerinin de frekansı-ayarlanabilir kırmızıaltı lazerin çıkışı olarak seçilmesi suretiyle ultraviyole spektral bölgede ayarlanabilir ışınma üretmektir.

4.2.3.2 Pompa- sonda deneyleri (pump-probe)

Spektroskopik ölçüm tekniklerinden biri de pompa-sonda tekniğidir. Kuantum kuyularının pompalanması (enerji düzeyleri arasında geçişlerin sağlanması), yarıiletkenlerde ve kuantum yapılar da lineer olmayan süreçlerin incelenmesi bu teknik ile yapılan çalışmalardandır. Bu çalışmalar optoelektronik cihazların anlaşılması için önemli bir çalışmadır. Örneğin kuantum kuyularında durulma zamanı kademeli lazerlerin tasarımı hakkında bilgi vermektedir (Stehr *et al.* 2006).

Şekil 4.14' de pompa-sonda deney düzeni görülmektedir. Kaynaktan alınan ışınım demet bölücü düzenek ile iki farklı ışınma ayrılır. Bunlardan birisi pompa atması, diğeri ise sonda atması olarak adlandırılır. Pompa atması, sonda atmasına göre daha şiddetlidir. Bunun nedeni; pompa atmasının örneğe gönderilmesi ile örnekte değişime neden olunurken, sonda atmasının uygulanmasından sonra örnek üzerinde değişimin en az düzeyde olması istenmektedir(Coupric *et al.* 2000).



Şekil 4.14.a. Pompa-sonda deney düzeneği b. Kuantum kuyularındaki enerji düzeyleri ($\lambda_1 = \text{mavi}$, $\lambda_2 = \text{kırmızı}$).

Pompa ve sonda atmalarının farklı optik yolları izlemesi ile iki atma arasında zaman farkı oluşur. Pompa atmasının rolü örnekte fiziksel ya da kimyasal değişiklikler oluşturmaktır. Örnek taban durumundan uyarılmış duruma geçer. Daha sonra uyarılmış durumdaki örnek sonda atması etkisinde kalır. Algılayıcı ile örnekten geçen sonda atması kaydedilir. Bu geçen ışınım, sonda atmasının yarattığı soğurulmanın dalgaboyu ile ilişkilidir. Kısacası spektroskopinin hedefi, pompa atması ile örnek üzerinde değişiklik oluşturmak ve sonda atması ile optik tepkiye neden olan bu fiziksel değişimleri zamana bağlı olarak ölçmektir. Farklı gecikme zamanlarında ölçümler yapılmakta ve durulma, yansıma gibi özellikler araştırılmaktadır (Hanriete *et al.* 2003).

SEL' in sahip olduğu yüksek pik gücü ve ayarlanabilir dalgaboyu pompa atmaları için; kısa atmalar ise sonda atmaları için önemli bir özelliktir. Ayrıca sonda atmasının atmalı bir yapıya sahip olması zaman çözünürlüğünü belirlemektedir. Böylece sistem çok hızlı bir algılayıcıya gerek duymamaktadır ve pompa ile sonda atmaları arasında sabit bir gecikme sağlanabilmektedir (Hutton *et al.* 2002).

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada 10 üniversitenin katılımı ile Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde yürütülen DPT-YUUP projesi kapsamında Ankara Üniversitesi'nin Gölbaşı/Ankara'da bulunan Virancık (50. Yıl) Kampüsü'nde kurulması planlanan Türk Hızlandırıcı Merkezi Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazeri (THM KA SEL) tesisinin araştırma potansiyeli araştırılmıştır.

Çalışmada, kurulacak laboratuarda üretilmesi planlanan kırmızıaltı serbest elektron lazerinin Ar- Ge ve endüstriyel amaçlı çalışma alanları araştırılmıştır. 2011' de tamamlanması öngörülen THM KA-SEL 2 ile 185 µm arasında dalgaboyuna sahip olacaktır. Bu aralık düşünülerek dünyadaki örnek kırmızıaltı serbest elektron lazeri üreten laboratuvarların uygulama alanları araştırmalarına dayanarak THM KA SEL ile ülkemizde malzeme fiziği ve nanoteknoloji araştırmaları, atom ve molekül fiziği araştırmaları, medikal ve biyomedikal araştırmaları, yarıiletken ve yüzey araştırmaları, foto kimyasal reaksiyon araştırmaları ve optik araştırmaları için ağırlıklı kullanıma sahip olacaklarını söyleyebiliriz. Günümüzde kullanıcılar, ayarlanabilirlik, yüksek pik gücüne bağlı olan yüksek tekrarlanabilirlik oranları ve frekans modülasyonlu atmalara ihtiyaç duyduğunda SEL kullanımına yönelmektedirler.

KA SEL ile çalışılabilecek bazı ana araştırma konuları aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- Biyoteknoloji ve Biyomedikal Araştırmaları
- Kolesterol esterlerin seçilerek kaldırılması
- Biyolojik dokuların seçilerek kaldırılması
- Biyolojik dokularda kırmızıaltı soğurma spektrumları
- Fototermal etkilerle dokuların kesilmesi
- Fotomekanik etkilerle sert dokuların kaldırılması
- Fotokimyasal etkilerle bir yüzeyin yeniden yapılandırılması
- Diş çürümesini engelleyen yüzeyin yeniden yapılandırılması
- Yarıiletkenler ve kuantum kuyuları
- Piko saniye (ps) zaman ölçeğinde yapılan pompa-sonda ölçümleri

- GaAs - AlGaAs kuantum kuyularının optik ve elektronik özellikleri
- Moleküler titreşimlerin rezonans uyarılmaları
- Yarıiletken hetero-eklemlerin bant süreksizlikleri
- İzotop ayırımı
- Moleküllerdeki titreşimsel enerji transferlerini
- Gaz matrisleri için organik moleküllerin durulma ve ayrışmaları
- Değişik ortamlardaki (katı, sıvı) moleküllerin titreşimsel durulmaları
- FT-IR spektroskopisi
- Kırmızıaltı nanosaniye zaman kararlı spektroskopi
- Kırmızıaltı yakın alan mikroskobu
- Nanoteknoloji

Bu uygulamaların birçoğunun yapılmasına olanak sağlayacak Türk Hızlandırıcı Merkezi Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazeri (THM KA SEL) Laboratuvarında 8 deney odası bulunacaktır. Bu odalardan birinin lazer diyagnostik odası olarak kullanılması planlanmaktadır. 7 deney odasından ilk ikisi özellikle malzeme fiziği (yarıiletkenler, yüzey fiziği v.b.) ağırlıklı kırmızıaltı spektroskopi çalışmaları için yapılandırılacaktır. Diğer deney istasyonları ise özellikle optik, kimya, nanoteknoloji, biyoteknoloji, tıp v.b. alanlarda ortaya konulacak ihtiyaç ve projelere göre yapılandırılacaktır.

Hızlandırıcı teknolojileri ile tanışmak ve bu teknolojiyi Ar-Ge amaçlı kullanmak üzere ülkemizde bir KA-SEL kurulması, yüksek teknolojiye dayalı lazer, optik, malzeme, yarıiletken, biyomedikal ve fotokimyasal araştırmalarının ülkemizde dünya ölçeğinde yapılmasını sağlayacak ve teknik tasarım çalışmaları yine aynı proje ekibince sürdürülen Türk Hızlandırıcı Merkezi'nin (THM) kurulumuna geçiş sürecinde önemli bir deneyim ve özgüven kazanılmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Anonim. 2008 Web Sitesi: <http://thm.ankara.edu.tr/> Erişim Tarihi: 25.05.2008
- Anonymous. 1999. Web Sitesi: <http://www.fzd.de> Erişim tarihi: 05.11.2007
- Anonymous. 2000. Web Sitesi: <http://www.fel.eng.osaka-u.ac.jp/index.html>, Erişim Tarihi: 22.04.2008
- Anonymous. 2000. Web Sitesi: <http://www.rijnh.nl/felix/> Erişim tarihi: 05.04.2008
- Anonymous. 2001. Web Sitesi: http://www.lcp.u-psud.fr/cliio/cliio_eng/cliio_eng.htm Erişim tarihi: 15.11.2007
- Anonymous. 2001. Web Sitesi: <http://www.jlab.org/FEL/>, Erişim Tarihi: 15.02.2006
- Anonymous. 2002. Web Sitesi: <http://www.vanderbilt.edufel/>, Erişim Tarihi: 25.02.2006
- Anonymous. 2002. Web Sitesi: <http://www.rs.noda.sut.ac.jp/~felsut/english/index.htm>, Erişim Tarihi: 18.04.2007
- Akkurt I. 2008. Design Report on Turkish Accelerator Center Infrared Free Electron Laser (IR FEL) and Bremsstrahlung Facility, Ankara. Web Sitesi: <http://thm.ankara.edu.tr/>, Erişim Tarihi: 25.05.2008.
- Aksoy, A., Karşlı, Ö. and Yavaş Ö. 2008. The Turkie Accelerator Complex IR FEL Project. *Infrared Physics & Technology*, 51, 378-381.
- Aksoy, A., Karşlı, Ö., Ketenoğlu, B., Yavaş, Ö., Çiftçi, A.K., Nergiz, Z. And Kasap, E. 2008. The Status of TAC Infrared Free Electron Lazer (IR FEL) Facility. *Proceedings of EPAC. Genoa, Italy.*
- Auerhammer, J.M. and Walker, M. 1997. Dynamic behavior of photoablation products of corneal tissue in the mid-IR: a study with FELIX. *Appl. Phys. B* 68, 111-119.
- Ayvazyan, V. 2002. Generation of GW radiation pulses from a VUV FEL operating in the femtosecond regime. *Physical Review Letters* Volume 88, Number 10.
- Awazu, K., Asakawa, M. and Horiike, H. 2003. Status Report and Biomedical Applications of the Institute of FEL, Osaka University. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A507*, 547-551.
- Barmantlo, M. 1994. Sum frequency generation with a free elektron laser: A studt of allium phosphide. *Physical Review A* Volume 50, Number 1994.
- Benedikt, J. 1996. Medical and surgical applications of FELs.

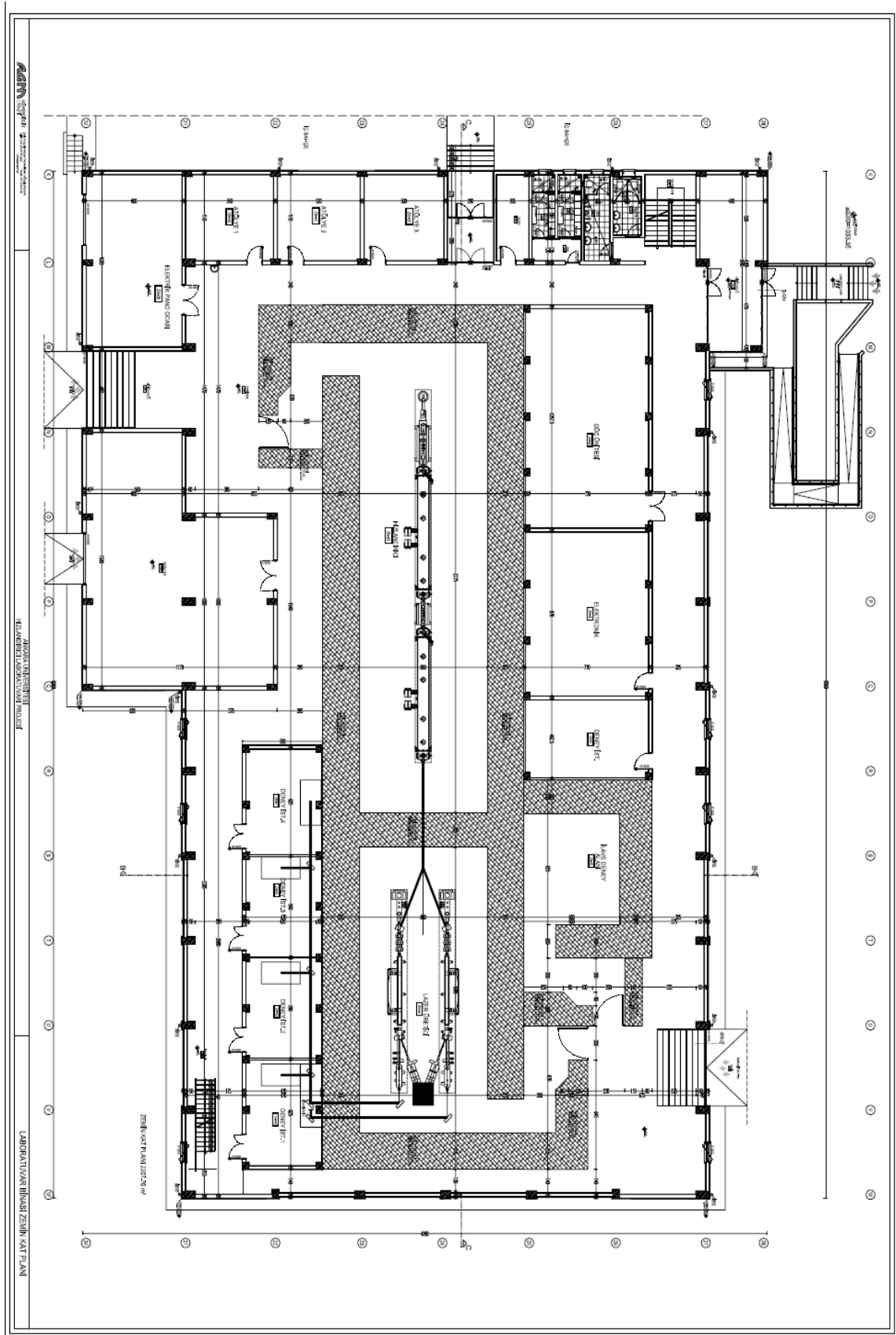
- Bubb, M., Horwitz, J.S., Callahan, J.H., McGill, R.A., Houser, E.J. and Chrisey, D.B. 2001. Resonant IR pulsed-laser deposition of polymer films using free electron laser. *J. Vac. Sci. Technol. A* 19 (5).
- Chernyshev, A.V. 2001. Status of FEL-SUT Project, and the experimental setup for multiphoton dissociation and isotope separation in the gaseous phase. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. A*470 (2001) 76- 79.
- Coupric, M.E. and Ortega, J.M. 2000. Free-electron lasers sources for scientific applications. *Analisis* 28 725-736.
- Cuisset, A., Broquier, M., Crépin, C. and Dubost, H. 2000. Vibrational Dynamic In Van Der Waals Solids Probed By Photon Echo Experiments With The Clio Fel. *Physics Review Letters*, 85, 964.
- Dattoli, G., Ciocci, F., Torre, A. and Renieri, A. 2000. World Scientific. ISBN 981 02 38320, 358, London.
- Dazzi, A., Prazeres, R., Glotin, F. and Ortega, J.M. 2007. Analysis of nano-chemical mapping performed by an AFM-based ("AFMIR") acousto-optic technique. *Ultramicroscopy*; 107(12): 1194-200.
- Dylla, H.F. 1997. Free electron lasers come of age. Reprinted from the August 2005 issue of *Photonics Spectra*.
- Edwards, G.S., Austin, R.H., Carrol, F. and Copeland, M.L. 2003. Free electron laser based biophysical and biomedical instrumentation. *Review of Scientific Instruments*, Volume 74:7, 3207-3245.
- Ferarao, J.R. 2003. *Introductory Raman Spectroscopy*, Second Edition.1994 Elsevier Science (USA).
- Georgiou, C.A. 2002. Analytical Raman Spectroscopy. *BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi* 4.2.
- Hoogenraad, J.H., Vrijen, R.B. and Noordam L.D. 1998. Rydberg atoms in far-infrared radiation fields. II. Wave packet dynamics. *Phys. Rev. A* 57, 4546 – 4552.
- Horiike, H., Tsubouchi, N., Awazu, K., Asakawa, M., Heya, M., Naito, Y., Kondo, H., and Suzuki, S. 2004. Status of Institute of Free Electron Laser, Osaka University. *Proceedings of the FEL Conference*, 251-254.
- Hutson, M.S. and Edwards, G. 2004. *Proceedings of the 2004 FEL Conference*, 258-263

- Hutton, A., Benson, S. V., Dylla, H. F., Williams, G. P., Wilson, N. W., 2002. A Synchronized Fel-Synchrotron Radiation Facility at Jefferson Lab., Jefferson Lab, 12000 Jefferson Avenue, Newport News, VA23606, 2002.
- Junbiao, Z. 2001. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 475 (2001) 630–634
- Karlı, Ö. 2006. Hızlandırıcılara Dayalı Kırmızıaltı Serbest Elektron Lazeri IR SEL Optimizasyonu. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Krishnagopal, S. 2004. Free Electron Lasers Current science Vol. 87, No. 8.
- Mackanos, M.A., Simanovski, D., Joos, K., Schwettman, H. And Janseb, H. 2007. Mid infrared optical parametric (OPO) as a viable alternative to tissue ablation with the free electron laser. Lasers in Surgery and medicine 39:230- 236.
- Masaki, T., Inouye, M. and Kawata, S. 2006. Submicron-resolving infrared absorption spectroscopy and analysis in fingerprint region utilizing a free electron laser. Chemical Physics Letters 417 (2006) 410- 413.
- Mete, Ö., Karlı, Ö. and Yavaş Ö. 2006. An Optimization Study of An Oscillator FEL as TAC Test Facility. X. European Particle Accelerators Conference, EPAC06, 26-30 June 2006, Edinburgh, England.
- Mete, Ö. 2006. Hızlandırıcılara Dayalı Işınım Kaynaklarının Fiziksel Karakteristikleri. Ankara Üniversitesi Fen Biimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Michel, P. 2006. The Rossendorf IR- FEL ELBE. Proceedings at FEL 2006, BESSY, BERLIN, GERMANY
- Minehara, E.J. .Nishimura, A. and Tsukada, T. 2004. Preparation Femtosecond Laser Prevention For The Cold-Worked Stress Corrosion Crackings On Reactor Grade Low Carbon Stainless Steel. Proceedings of the 2004 FEL Conference, 665-666
- Neil, G.R. 2003. FEL Oscillators. Proceedings of the Particle Accelerator Conference 181-185.
- Nicolet, T.2001. Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry.
- Ogi, Y. 2006. Vibrational excitation of the ν_2 mode of NH₃ by infrared free electron laser. Chemical Physics Letters 421 (2006) 96- 100. 2006

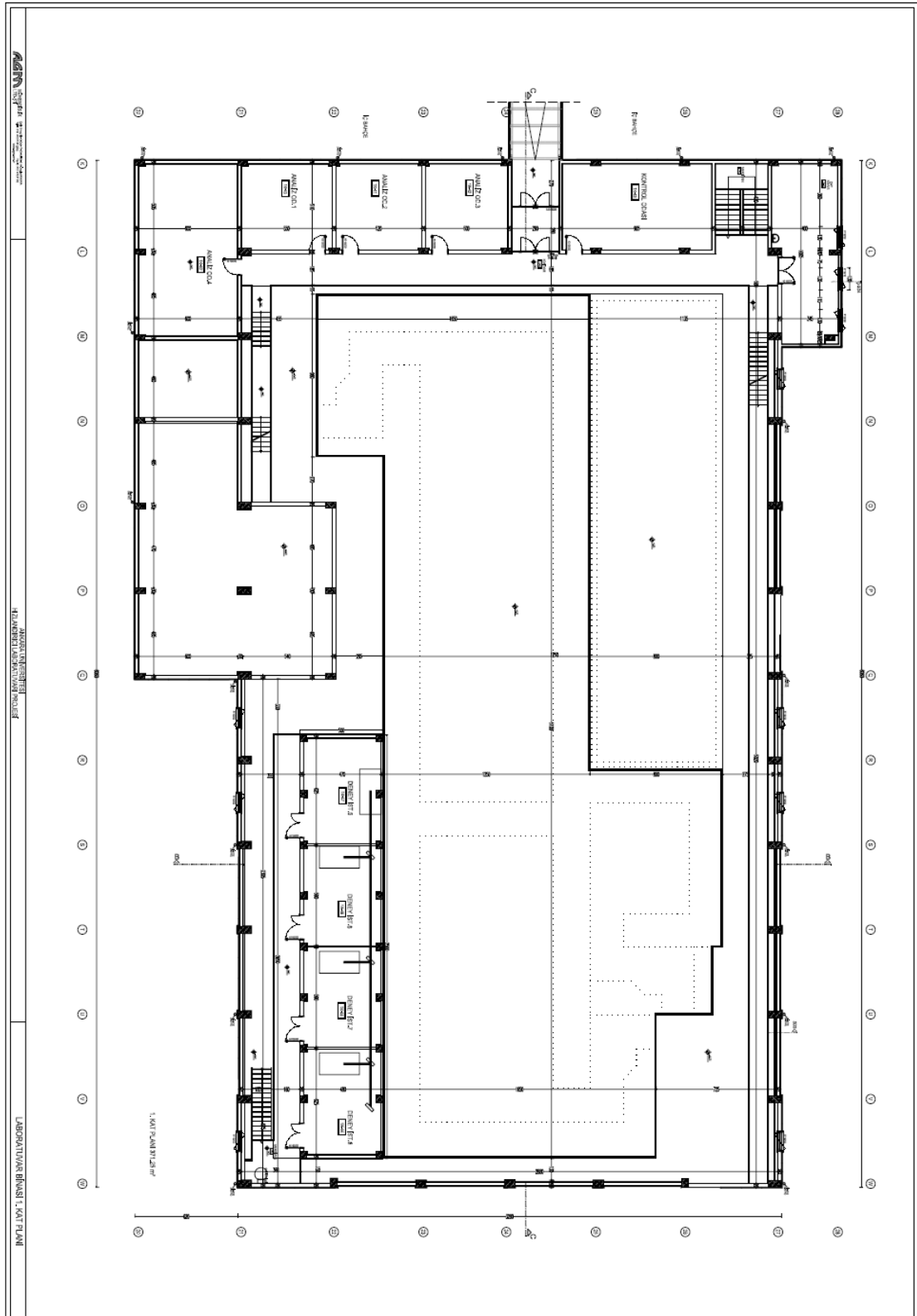
- Olmstead, M.A. 1983. Photothermal displacement spectroscopy: An optical probe for solids and surfaces. *Applied Physics A32* 141- 154
- Ortega, J. M. 2003. Two- color experiments with infrared lasers. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A507* (2003) 8-14
- Ostendorf, A. 2006. Two photon polymerization: A new approach to micromachining. Reprinted from the October 2006 issue of *Photonics Spectra*.
- Prazers, R., Glotin, F., Ortega, J.M., Rippon, C., Andouart, R., Berset, J.M., Arnaud, E. And Chaput, R. 2000. Study of the CLIO FEL properties at long wavelengths. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A445* (2000) 204- 207
- Redlich, B. 2005. Vibrational spectroscopy of isolated clusters in the gas phase using the free electron laser. *Spectroscopy and Material Properties MC5-38*, 2005.
- Satoh, S. 2004. Modification of Hydroxyapatite Crystal Using IR Laser. *Proceedings of the 2004 FEL Conference*, 695-698.
- Sherman, C.P. 2000. *Infrared Spectroscopy. Separation Sciences Research and Product Development* Mallinckrodt, Inc. Mallinckrodt Baker Division. 2000.
- Shen, Y.R. 2001. Exploring new opportunities with sum-frequency nonlinear optical spectroscopy. *Pure Appl. Chem.*, Vol. 73, No. 10, pp. 1589–1598.
- Stehr, D. 2007. Relaxation dynamics of interminiband Transitions and electron cooling in doped GaAs/AlGaAs süperlattices. *28th International Conference on the Physics of Semiconductors*.
- Stehr, D. 2006. Microscopic theory of impurity states in coupled quantum wells and superlattices. *Phys. Rev. B* 74, 085311.
- Tarımcı, Ç. 2008. Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği, Spektral Analiz Yöntemleri ders notları.
- Topaçlı, A. 2005. Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği, Spektral Analiz Yöntemleri ders notları.
- Tribble, J., Lamb, D. and Reinisch R.1997. Dynamics of gelatin ablation due to free electron laser irradiation. *Phys. Rev. E* Volume 55, Number 6.
- Tro, N. J.1989. Infrared free electron laser as a probe of vibrational dynamics on surfaces. *J. Opt. Soc. Am. B*, Vol. 6.

- Wiedemann, H. 2003. Synchrotron Radiation, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 274, Almanya.
- Willie, K. and Mcfaal, J. 2000. The Physics of Particle Accelerators, Oxford University Press ISBN 0 19 850549 3, USA, 315.
- Wilson, E. 2001. An Introduction To Particle Accelerators, Oxford University Press ISBN 0 19 850829 8, New York, 252.
- Winick, H. 1998. Fourth Generation Light Sources, IEEE, 37-41, USA
- Vidal, F. and Tadjeddine, A. 2005. Sum-frequency generation spectroscopy of interfaces. Rep. Prog. Phys. 68 (2005) 1095- 1127
- Yavaş, Ö. Parçacık Hızlandırıcıları: Türkiye’de Neler Yapılmalı. DPT 1997K-120420 No.lu Proje Sonucu Raporu. 2000. Web Sitesi: <http://thm.ankara.edu.tr/>, Erişim Tarihi: 02.12.2007.
- Yavas, Ö. and Yiğit, Ş. The Status of UV SASE FEL and Oscillator IR FEL Proposals of TAC Project. 15th Int. Conference on VUV Radiation Phsyisc, July 29th- August 3rd, 2007, Berlin, Germany, Conference Abstracts Book: Page: 100.

EK 1: THM-KA SEL Laboratuvarının zemin kat planı



EK 2: THM-KA SEL Laboratuvarının 1. kat planı



ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Müge TURAL

Doğum Yeri : Kayseri

Doğum Tarihi : 27. 05. 1981

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu:

Lise :Çankaya Anadolu Lisesi (1991-1999)

Lisans :Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü (1999- 2005)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı (Şubat 2006- Temmuz 2008)

Yayınlar:

1. A. Aksoy, A.K. Çiftçi, Ö. Karşlı, E. Kasap, **M. Tural**, Ö. Yavaş
“A National Infrared Free Electron Laser Facility and Its Research Potential in Nanotechnology”,
NanoTR-III Konferansı, 11-14 Haziran 2007, Bilkent Üniversitesi, Ankara
2. Y. Cenger, Ç. Kaya, Ö. Karşlı, S. Tekin, **M. Tural**, Ö. Yavaş
“Türk Hızlandırıcı Merkezi Infrared Serbest Elektron Lazerinin Uygulama Alanları ve AR-GE Potansiyeli”,
3. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi (UPHUK3),
17-19 Eylül 2007, Bodrum-Türkiye
3. S. Ceyhun, **M. Tural**, Ö. Yavaş
“Serbest Elektron Lazeri: Malzeme Bilimi Uygulamaları”,
3. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi (UPHUK3),
17-19 Eylül 2007, Bodrum-Türkiye