

ÖZET

Değerli taşların çoğu doğada renksiz halde bulunur. Değerli taşlara farklı renkler vermek ilginç bir çalışmadır. Değerli taşları renklendirmek için farklı metotlar vardır.

Tez çalışmasının amacı bu yöntemlerin mineraller üzerindeki etkilerini araştırmak ve iyi bir değerli taş yapmak için en iyi yöntemin ne olacağını tartışmaktır. Şüphesiz bu uygun yöntem farklı mineraller için değişik olacaktır. Bu tez çalışmasında safir, topaz, kuartz ve beril kristallerine uygulanan yöntemler ve etkileri incelenmiştir. Kristallere uygulanan metotlar aşağıda verilmiştir:

- a) Farklı dozlarda, farklı enerjiye sahip farklı iyonların implantasyonu
- b) İmplantasyon ardından farklı sıcaklıklarda, farklı ısıtma sürelerinde tavlama
- c) β , x, γ ve UV radyasyonları uygulama
- d) elektron ve nötron radyasyonları uygulama

Kristallere uygulanan yöntemlerin ardından kristaldeki değişimi tanımlamak için kullanılan deneysel metotlar şunlardır:

- a) absorpsiyon spektrasi
- b) emisyon spektrasi
- c) TL eğrileri
- d) XPS spektrasi
- e) RBS spektrasi

SUMMARY

Most of the gemstones have been colorless in nature. It is very interesting study to colourize gemstones with different colours. There is a variety of methods to make colourized gemstones.

The purpose of this thesis is to investigate the effects of these methods in minerals and to conclude which method is the best to prepare a good gemstone. It is certain that this method will be different for different minerals. In this thesis, the methods applied to sapphire, topaz, quartz and beryl crystals and the effects of these methods were studied. The following methods were applied to crystals:

- a) implantation of the different ions which have different fluences, and energies
- b) heating the crystals at different temperatures and heating times after implantation
- c) irradiation with β , X, γ and UV light
- d) exposition to electron and neutron radiation

The experimental methods that are used to determine the changes in crystals after different methods:

- a) absorption spectra
- b) emission spectra
- c) TL curves
- d) XPS spectra
- e) RBS spectra

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin çalışmaları sırasında tez konusu seçiminden kaynak taramasına kadar her konuda yardımını aldığım tez danışmanım sayın Yard. Doç. Dr. Bulat RAMEEV başta olmak üzere tezimin hazırlanmasında emeği geçen bütün hocalarıma teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca bu çalışmayı hazırlarken desteklerini benden esirgemeyen aileme ve özellikle anneme teşekkür ederim.

saygılarımla

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xiii
1.GİRİŞ	1
2.DEĞERLİ TAŞLARIN ÖZELLİKLERİ	3
2.1. Safir	3
2.2.Topaz	5
2.3.Kuartz	6
2.4.Beril	7
3.RENKLENDİRME	9
3.1.Cisimler Neden Renkli Görünür?	9
3.2. Renk Sebepleri	9
3.2.1. Metal İyonları	9
3.2.2.Yük Transferleri	10
3.2.3.Renk Merkezleri	10
4.DENEYSEL METODLAR	12
4.1.İyon İmplantasyonu	12
4.2.Isıtma	13
4.3.Optik Özelliklerin İncelenmesi	14
4.3.1.Akcorluk	14
4.3.2.Luminesans	14
4.3.3.Fosforesans	15
4.3.4.Sürtünmeli Işıldama	15
4.3.5.Termoluminesans	15
4.3.6.Floresans	15
4.4.Absorbsiyon ve Emisyon Spektrumları (Soğurma ve Işıma	16

Spektrumları)	
4.5.X Işınları Spektroskopisi	17
5.KRİSTALLER ÜZERİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR	19
5.1..Safir İçine İyon İmplantasyonu Ve Sonuçları	19
5.1.1.Sonuçlar	19
5.2.. Safir Kristaline İyon İmplantasyonu Ardından Gama Radyasyonu ve Sonuçları	23
5.2.1. Sonuçlar	24
5.3. Safir Kristaline Elektron Radyasyonunun Etkisi	30
5.3.1.Al ₂ O ₃ :V Örgü Yapısı	30
5.3.2.Radyasyonun Öncesi ve Sonrasında Optik Spektrumun Değişimi	31
5.4.. Fe ve Co İyonları İmplant Edilen Topazın Yapısal ve Optik Karakteristiği	32
5.4.1. Yapısal Çalışmalar	33
5.4.2. Optik Çalışmalar	35
5.5. UV Işınlığının Topaz Kristaline Etkisi	37
5.6. Gama Işınlığının Topaz Kristaline Etkisi	38
5.7. β Işınlığının Topaz Kristaline Etkisi	40
5.8.Metal İyonları İmplantasyonuyla Kuartz Kristalinin Renklendirilmesi	41
5.9..Doğal Berilin İyon İmplantasyonuyla Renklendirilmesi	42
6. SONUÇLAR VE YORUM	44
6.1. Safir	44
6.1.1. İyon İmplantasyonu ve Sonuçları	44
6.1.2. Gama Radyasyonunun Etkileri	45
6.1.3. Elektron Radyasyonunun Etkisi	46
6.2.Topaz	46
6.2.1.Fe ve Co İyonları İmplant Edilen Topazın İncelenmesi	46
6.2.2.Fe ve Co İyonları İmplantasyonuna Uğrayan Ve Ardından Tavlanan Topazın Optik Spektrası	47
6.2.3. β Işınlığının Topaz Kristaline Etkisi	47
6.3.Kuartz	48
6.3.1.İyon İmplantasyonuyla Kuartz Kristalinin Renklendirilmesi	48

6.4. Beril	48
6.4.1.Doğal Berilin İyon İmplantasyonuyla Renklendirilmesi	48
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1.Safir	3
2.2.Mavi Topaz	5
2.3.Kuartz	6
2.4.Beril	7
4.1. İyon demeti ivmelendiricisinin şematik gösterimi	12
4.2. Elektrik fırını	13
4.3. Elektromagnetik spektra	14
4.4. Atomik hidrojenin ısıma ve soğurma spektrumları	17
5.1. Safirin Co iyonlarıyla (5×10^6 iyon/cm ²) implantasyona uğramış bölgesinin farklı sıcaklıklarda ısıtıldıktan sonra saydamlığının değişimi	20
5.2. Safirin Co iyonlarıyla (1×10^7 iyon/cm ²) implantasyona uğramış bölgesinin farklı ısıtma süreleri için saydamlığının değişimi	20
5.3. Safirin farklı dozlarda Co iyonlarıyla implantasyonu ardından 1000°C'de üç saat ısıtılan bölgesinin saydamlığının değişimi	21
5.4. Safire implant edilen Co 2p _{3/2} 'nin XPS spektrası.	22
5.5. Safir içine implant edilen ve 800C' de 3 saat ısıtılan Co 2p _{3/2} için XPS spektrası	22
5.6. Safir içine implant edilen ve 1000C' ye ısıtılan Co 2p _{3/2} için XPS spektrası	23
5.7. Na ⁺ implant edilen ve ¹³⁷ Cs gama ışınlarına maruz kalan Al ₂ O ₃ 'ün TL eğrileri	24
5.8. Derinliğin fonksiyonu olarak Na ⁺ ve boşluk dağılımı	26
5..9. Farklı dozlarda implantasyon ardından ¹³⁷ Cs gama radyasyonuna maruz kalan Al ₂ O ₃ 'ün TL eğrileri	26
5.10. Al ₂ O ₃ için TL yoğunluğunun iyon miktarına bağlılığı	27
5.11. Farklı enerjideki iyonlarla implant edilmiş Al ₂ O ₃ 'ün gama radyasyonu ardından TL eğrileri	28
5.12. Al ₂ O ₃ için TL yoğunluğu, iyon derinliği ve iyon başına düşen boşluk sayısının enerjinin fonksiyonu olarak hesaplanan değeri	28

5.13. Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarıyla implant edilmiş ve ardından ^{137}Cs gama radyasyonuna uğratılmış Al_2O_3 için TL eğrileri	29
5.14. Al_2O_3 için TL yoğunluğu ve iyon kütlesinin bir fonksiyonu olarak hesaplanan iyon nüfuzu (ion range)	29
5.15..Safir:V kristalinin yapısı	30
5.16. Elektron radyasyonundan önce ve sonra V: Al_2O_3 kristalinin absorpsiyon spektrası	31
5.17. Topazın RBS spektrası (a) $(1 \times 10^{17} \text{ Fe}^+/\text{cm}^2)$ implantasyona uğramış ve ardından 1 saat (b) 700°C 'de ısıtılmış (c) 900°C 'de ısıtılmış	33
5.18. Topazın RBS spektrası (a) $(2 \times 10^{17} \text{ Co}^+/\text{cm}^2)$ implantasyona uğramış ve ardından 1 saat (b) 700°C 'de ısıtılmış (c) 900°C 'de ısıtılmış	34
5.19. Fe^+ iyonları $(1 \times 10^{17} \text{ iyon}/\text{cm}^2)$ implant edilen ve ardından periyodik olarak ısıtılan topazın optik spektrası	35
5.20. $2 \times 10^{17} \text{ Co}^+/\text{cm}^2$ implant edilen topazın havada ısıtıldıktan sonra optik spektrası	36
5.21. UV ışığının renksiz topaza etkisi	37
5.22.. (a) Cr^+ (b) Fe^+ (c) Al^+ implantasyonunun fonksiyonu olarak topaz örneklerin TL eğrileri	38
5.23.. (a) Cr^+ (b) Fe^+ (c) Al^+ implantasyon miktarının bir fonksiyonu olarak β ışınları radyasyonuna uğrayan topaz örneklerin TL eğrileri	40
5.24.. (A) Renksiz doğal berilin (B) sarımsı berilin (C) altın berilin optik absorpsiyon spektraları	42

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. 20 keV enerjili Co iyonları (5×10^6 iyon/cm ²) implantasyona uğramış safir kristalinde renk değişimi	19
5.2. 20 keV enerjili Fe ⁺ iyonları ($9,4 \times 10^{16}$ iyon/cm ²) implantasyonuna uğramış kuartz kristalinde renk değişimi	41

1. GİRİŞ

Tez boyunca, bu güne kadar çeşitli tek kristallere renklendirme amacıyla uygulanmış radyasyon yöntemleri ile elde edilen sonuçlar tartışılacaktır. Bu alanda yapılan çalışmalara ait makaleler incelenecektir. Tezin amacı bu alanda bir literatür taraması yaparak değerli taşların renklendirilmesinde etkili ve verimli olan metotların karakterize edilmesi ve varolan sonuçların tartışılmasıdır.

Önce değerli taşların yapıları, çeşitleri ve kullanım alanları hakkında genel bir bilgi verilecektir. Daha sonra cisimleri neden renkli gördüğümüze ve kristallerin renklendirilme türlerine genel bir bakış yapılacaktır. Kristaller üzerinde yapılan çalışmalara geçmeden önce, kristallere uygulanan çeşitli deneysel metotlar (iyon implantasyonu, optik absorpsiyon, TL, vb.) anlatılacaktır.

Kristaller üzerinde yapılan araştırmalar bölümünde ise değerli taş ile ilgili yapılan araştırmaları içeren makaleler baz alınarak elde edilen deneysel sonuçlar (renklendirme, yapı değişikliği vb.) incelenecektir.

Kristaller (safir, kuartz, beril, vb) iyon implantasyonuna maruz bırakılıp ardından farklı sıcaklıklara ısıtıldığında farklı renklerde görünmektedirler. En değerli taş sıralamasında elmastan sonra ikinci sırada olan safirin harikulade mavi rengi , Co iyonu implantasyonu ardından koyu gri renkte görünen safirin 1000 °C’de tavllanmasıyla meydana gelir. Tez boyunca, değişik iyonların implantasyonuna uğrayan ve ardından yüksek sıcaklıklarda tavlanan farklı kristallerde oluşan değişiklikler araştırılacaktır.

İyon implantasyonu uygulanırken, iyon dozunun, iyon enerjisinin, iyon kütlelerinin ve iyonun cinsinin farklı olmasının; diğer yandan implantasyona uğrayan örneklerin tavlama sıcaklığının ve tavlama süresinin farklılığının kristalde elde edilen sonuçlara etkisi de incelenecektir.

Kristallere uygulanan radyasyon yöntemleri (α , β ,X , γ ve UV radyasyonu) kristallerde farklı kusurlara sebep olmaktadır. Tez boyunca farklı kristallere

uygulanan bu radyasyonların kristallerde oluşturduğu değişiklikler (F , F^+ vb renk merkezleri, yapı kusurlarının değişimi, radyasyonlarla oluşan reaksiyonlar, ...) araştırılacaktır.

2. DEĞERLİ TAŞLARIN ÖZELLİKLERİ

2.1. Safir



Şekil .2.1. Safir

Safirler saf iken renksiz bir mineral olan korondumun bir çeşididir. Korondum; ruby(kırmızı renkte), mavi safir, sarı safir, pembe safir, yeşil safir, yıldız ruby,... gibi adlarla bilinir. Her biri aynı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip bu kristaller renkleriyle birbirinden ayrılır. Alüminyum oksit kimyasal formülüne sahip korondum minerali hexagonal bir yapıya sahiptir. Korondum, çok sert, dayanıklı ve kararlı bir mineraldir. Saydam ve yarı saydam çeşitleri vardır.

Dünyanın en pahalı ve en değerli taşları arasında bulunan safirler, sert, ısılara dayanıklı, muhteşem mavi renkte ve beyaz damarlı olurlar. Mohs ölçeğine göre safir, sertlik derecesine göre elmasan sonra ikinci sıradadır.

Dünya yüzünde en değerli ve ünlü safirler Hindistan'dan çıkmışlardır. Bugün bilinen en büyük safir 563 karatlık Hindistan Yıldızı'dır ve New York Doğal Tarih Müzesi'nde sergilenmektedir. 330 karatlık bir diğer safir ise Asyanın Yıldızı adlı taştır ve Washington DC'de sergilenmektedir.

Safirin çeşitleri, mavi, sarı, yeşil, beyaz, renksiz, pembe, turuncu, kahverengi ve mordur. Değerli taş biliminde safir, sıfat kullanılmadığı zaman korondumun mavi çeşidi olarak bilinir. Önünde sıfat bulunduğunda ise kırmızı ruby hariç safir, korondumun bütün çeşitlerini kapsar. Ruby gerçek bir kırmızı safirdir ve renk

dışında bütün spesifik özellikleri safir ile aynıdır. Safir, mavi değerli taşların en kıymetlisidir. Sertliği, dayanıklılığı ve parlaklığı safiri en çok arzu edilen değerli taş yapmıştır.

Son yüzyıla kadar mavi hariç tüm safirler renkçe benzedikleri kristalin adının önüne ‘oriental’ getirilerek adlandırılıyordu. Örneğin yeşil safir ‘oriental emerald’ olarak bilinirdi. Başka bir değerli taşın adını kullanma safirle ilgili yanlış bilgiler verdiği için bu isimler bırakıldı. Artık safir deyince mavi safir kastediliyor ve diğer renkteki safirler isimlendirilirken ön ek olarak renkleri kullanılıyor. Örneğin yeşil renkteki safirin adı yeşil safirdir.

Bazı safirlerde kayanın oluşumu sırasında meydana gelen tabakalardan kaynaklanan renkli bölgeler vardır. Safirin kıymeti, rengindeki istikrara (bölgelere göre renginin değişmemesi) bağlıdır. Renksiz veya bazı katkılarla açık mavi renginde görülen safir ısıtma işlemlerinden sonra yoğun mavi renkte görünebilir.

Safir ilk defa 1902’de sentezlendi. Yapay safiri oluşturma işlemi ‘Verneuil process’ olarak bilinir. Sadece eksperler doğal ve yapay safir arasındaki farkı ayırabilir.

Safir en popüler mücevherler arasındadır. Mavi çeşidi mücevher olarak en çok kullanılan çeşididir. Fakat yeşil, pembe ve turuncu safirler de popülerdir. Hatta ender bulunan turuncu-pembe çeşidi (padparadschah) mavi safirlerden bile daha değerlidir.

DİĞER KULLANIM ALANLARI:

- kızıl ötesi optiğinde
- uzay teknolojisi gibi alanlarda direnç penceresi olarak
- yüksek sıcaklık yalıtkanlarında
- mekanikte

- insan kemiđi protezlerinde
- yüksek basınç lambalarında

2.2. Topaz



Şekil 2.2. Mavi topaz

Topaz, yıllardır mücevher yapımında çok sık kullanılan bir değerli taştır. Kimyasal formülü $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F}, \text{OH})_3$, aliminyum silikat florit hidroksittir. Optik özellikleri sebebiyle endüstride de çok sık kullanılır.

Topazın klasik rengi altın kahverengiden sarıya kadar değişir. Fakat bu çeşidi daha değersiz bir taş olan ve topaz adında satılan citrine ile karıştırılır. Aquamarine taşıyla karıştırılan mavi topaz ise nadiren doğal olarak bulunur ve daha çok radyasyon ardından ısıtma işlemleriyle oluşturulur.

Topazın yapısı düzensiz oktahedronların bir zincir gibi şekillenmesiyle oluşur. Bu oktahedronlar 4 oksijenle çevrili aliminyum içerirler. Aliminyumun altında ve üstünde hidroksit ve florit iyonları vardır. Topaz en sert silikat mineralidir ve doğadaki en sert minerallardan biridir. Topaz kristallerin değeri inanılmaz fiyatlara ulaşabilir. Topaz parlaklığı, güzel renkleriyle çok cezbedicidir.

Sarı, turuncu, kırmızı ve yeşil renkte topaz çeşitleri vardır. Minas Gerias, Brezilya, Pakistan, Ural dağları, Rusya, Meksika topazın bulunduğu yerlerden bazılarıdır.

2.3. Kuartz



Rose Quartz Photo from MHL courtesy of the Smithsonian Institution

Şekil .2.3. Kuartz

Kuartz silikatlar sınıfındandır. Gözlüklerde, bazı elektrik malzemelerinde, optik lenslerde kullanılır. Doğadaki en temel mineraldir. Hemen hemen tüm kazılarda ortaya çıkar. Renkleri ve formlarıyla en fazla çeşidi olan taştır. Bu, doğada çok yaygın ve bol miktarlarda olmasına bağlanabilir. Bir toplayıcı, yüzlerce çeşit kuartz bulabilir fakat tüm özellikleri aynı olan iki kuartzı bulması çok zordur.

Süs taşları ve değerli taşlar olarak kullanılan en popüler çeşitleri şunlardır:

1. Amethyst: mor renkli değerli taş
2. Citrine: sarıdan turuncuya uzanan renkleriyle doğada az bulunan fakat amethyst taşı ısıtılarak oluşturulan değerli taş
3. Milky kuartz: bulut beyazı rengindeki kuartz
4. Rock kristal: değerli taş olarak kullanılan berrak çeşidi
5. Rose kuartz: pembeden kırmızımsı pembeye kadar uzanan renklerdeki kuartz çeşidi
6. Smoky kuartz: kahverengiden gri rengine uzanan renklerdeki kuartz çeşidi

İki tür doğal kuartz kristali vardır : saydam renkli kuartz ve saydam renksiz kuartz. Sentez edilen kuartzlar içerisinde renklendirme amacıyla bazı katkılama maddeleri ya da kusurlar bulundurulmak zorundadır. Kuartz sentezi sırasında katkılama maddeleri çözücü içinde erimiş halde bulunabilir. Bu yöntemle farklı renklerde kuartz çeşitleri; amethyst , Fe-citrine vb sentezlenebilir. Yapısal olmayan safsızlıklar içeren yapay kuartz kristallerine renk vermek için iyon ışıması (Co^{60}) tekniği de kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu tekniklerde renk kristalin dışına doğru dağılmaktadır ve kristalin seçilen bölgesinin renklendirilmesi zorlaşmaktadır.

Kuartz , piezoelektrik özellikleri (basınç uygulandığında kristalin bir tarafında pozitif yük oluşurken diğer tarafında negatif yük oluşması) yanında saydam olması ve değişmeyen kimyasal pozisyonu nedeniyle elektronik uygulamalarda kullanılmaktadır. (Bilgisayarlar, cep telefonları, televizyon ,radyo, elektronik oyunlar basınç ölçerler, osilatörler, rezonatörler vb.) . Kuartz ışığın polarizasyon düzlemlerini döndürebilme özelliği ve UV ışınlarında saydamlığı sebebiyle ısı-ışını lambalarında, prizmalarda, spektrografik lenslerde kullanılmaktadır.

2.4.Beril



Şekil 2.4. Beril

Beril, halk tarafından ,hatta değerli taş satın alanlar tarafından da sıklıkla bilinmeyen bir değerli taştır. Bununla birlikte, en önemli taş minerallerinden biridir. Saf beril renksizdir. Beril içindeki farklı safsızlıklar berilin değişik renklerde görülmesini sağlar. En çok bilinen beriller yeşil renkli emerald (zümrüt) ve mavi renkli aquamarindir. Zümrüt en değerli taşlardan biri olup çok pahalıdır.

Heliodor: yeşilimsi sarı beril

Morganite: pembe beril

Goshenite: renksiz beril

Berilyum aliminyum silikat $\text{Be}_3 \text{Al}_2 (\text{SiO}_3)_6$ ya da basitçe beril, W. L. Bragg tarafından 1926'da altıgen kristal yapısı ilk defa açıklanmış olan siklosilikatların tipik bir örneğidir. Berilin kristal yapısı altı tane silikon-oksijen dörtyüzlüsünden oluşmuş halkalardan meydana gelmiştir. Bu silikon-oksijen halkaları , biri diğerinin üzerine gelecek şekilde yerleşmişlerdir ve kristal eksen c boyunca yönlenmiş boş kanalları oluştururlar. Halkalar ortak bir kristal örgü içerisinde 6 oksijenle çevrelenmiş Al^{3+} katyonları ve çeyrek oksijenle çevrelenmiş Be^{2+} katyonlarıyla bağlanmıştır.

Saf beril renksiz ve saydamdır. Bununla birlikte eğer az miktarda geçiş metali kristal içinde safsızlık olarak yerleşirse beril kristalleri değişik renk tonları gösterebilirler. Örneğin zümrütün yeşil rengi aliminyum siteleri içinde Cr^{3+} iyonlarıyla oluşurken, pembe beril (morganit) Mn^{3+} iyonlarının kristalin içine karıştırılmasıyla oluşur. Fe^{2+} ve Fe^{3+} safsızlıklarının miktarlarındaki farklı korelasyonlar Fe içeren berilin mavi, mavimsi yeşilden sarı-turuncuya kadar değişen rengini belirler.

Beril metal alaşımları, uzay araçlarında, otomobillerde, bilgisayarlarda, petrol ve gaz çıkarma aygıtlarında ve telekominikasyonda kullanılmaktadır. Berilyum tuzları, floreskent lambalarda, X ışınları tüplerinde ve bronz metalurjide oksitleyici olarak kullanılmaktadır.

3.RENKLENDİRME

3.1.Cisimler Neden Renkli Görünür?

Cisimler yansıttıkları ışığın renginde görünürler. Eğer cisim bazı işlemlere tabi tutulursa bazı özel dalga boylarını soğuracak ve dolayısıyla farklı renkte görülecektir. Renk, cismin aydınlatıldığı ışığa da bağlıdır. Beyaz ışıktaki mavi görünen safir, kırmızıca zengin mavice fakir olan mum ışığında siyah görünür.

3.2. Renk Sebepleri

- a)Dağınık metal iyonları
- b)Yük transferi (iki ya da daha fazla atom arasında)
- c)Renk Merkezleri
- d)Fiziksel Optik (kaplamadan doğan difraksiyon etkileri)

Fiziksel optik konumuzla çok ilgili olmadığı için bu bölümde açıklanmayacaktır.

3.2.1. Metal İyonları

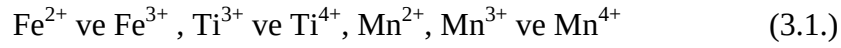
Kristallerde düşük konsantrasyonlarda bulunan (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu,...) element safsızlıkları renklendirmeye sebep olur. Örneğin renksiz olan ruby kristali %1 oranında Cr içerdiğinde ya kırmızı ya da pembe renkte görünür.

Farklı iyon safsızlıkları aynı kristallerde farklı renklere sebep olur. Örneğin beril kristali Fe^{2+} iyonu içerdiğinde mavi, Fe^{3+} iyonu içerdiğinde sarı, Mn^{3+} içerdiğinde ise yeşil görünür.

Yukarıdaki örneklerden de görüldüğü gibi oksidasyon durumu renk değişiminde etkilidir: (Fe^{2+} mavi renk, Fe^{3+} sarı renk). O halde ısıtma ile iyonların oksidasyon durumları değiştirilerek renk de değiştirilebilir.

Bir iyon, farklı kristallerde değişik renklere sebep olur. Sebebi örneğin, Cr farklı kristal içindeyken ışığı farklı soğurur. Cr^{3+} , ruby kristalinde kırmızı, beril kristalinde ise yeşil renk oluşturur.

3.2.2.Yük Transferleri



Yük transferi sadece oksidasyon durumları arasındaki fark en az olan iki element arasında gerçekleşir. Yük transferi taşlarda renklendirmeye sebep olur. Örneğin, Mn içeren bir kristalde Mn^{2+} ve Mn^{4+} oksidasyon durumları var iken Mn^{2+} bir elektron kaybederek Mn^{3+} olurken Mn^{4+} bir elektron alarak Mn^{3+} olabilir.

3.2.3.Renk Merkezleri

Renk merkezleri kristaller içindeki kusurlardır. Bu kusurlar ışığı soğurarak renge sebep olur.

Renk merkezleri çok sıklıkla gama ışınları gibi radyasyon etkilerinden meydana gelen kusurlardır. Gama ışınları, doğal (U,Th, ve K) minerallerden veya yapay kaynaklardan elde edilebilir. Diğer yandan UV ışınları, renk merkezleri oluşturabilir.

Eğer kusur radyoaktif bozunmayla oluyorsa, elektronlar kendi normal durumlarından ayrılarak etrafa sıçrar ve son olarak yapı içindeki bir boşluk tarafından yakalanırlar(trap edilirler).

Bir kristal farklı tipte elektron traplerine sahip olabilir. Spesifik traplerdeki elektronlar sadece belli dalgaboylarını soğururlar. Görünen renk, bu soğrulan rengin aksidir (yansıtılan renk).

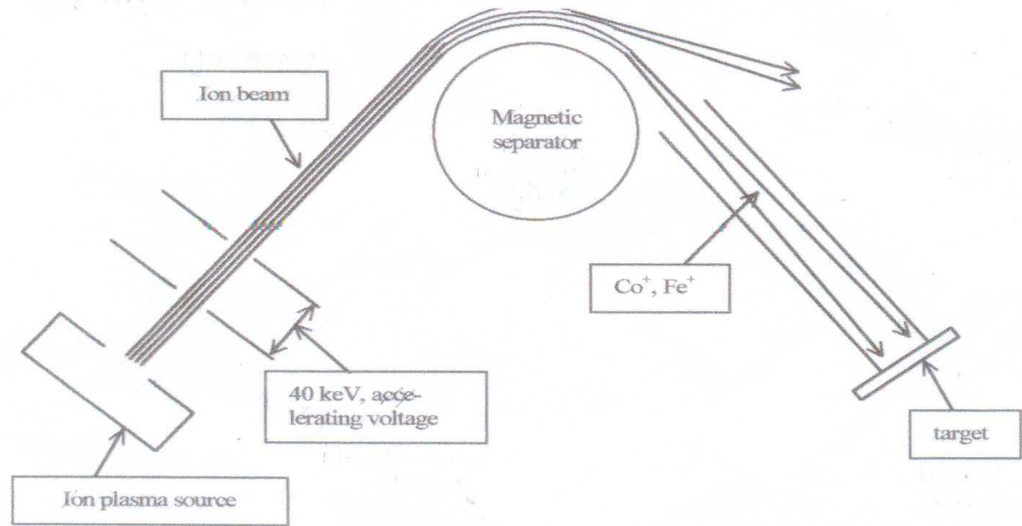
Renk merkezleri kusurların bir formu olduğundan enerji verilmesiyle yerlerini bırakabilirler. Bu da taşın en az 100°C 'ye ısıtılmasıyla mümkündür. Bazı durumlarda güneş ışığında tutma renk merkezini hareket ettirebilecek kafi enerjiyi sağlar.

4. DENEYSEL METOTLAR

4.1. İyon İmplantasyonu

Kristallerin renklendirilmesi için bilinen yöntem kristallere metal iyonları katkılamaaktır. Örneğin safir ve kuartz renksiz ve saydam olmasına rağmen kristal yapılarına metal iyonları katkılanarak değişik renk tonları elde edilebilmektedir. Ancak, metal katkılama yoluyla renk, kristalin her yanına dağıldığından sadece seçilmiş bir bölgenin renklendirilmesi mümkün değildir.. Bazı kristal yapılarda istenilen katkıların çözünürlüğü çok düşük olabilir. O yüzden bu metot ile yeterli renk merkezi konsantrasyonu elde edilemeyebilir.

İyon implantasyonu tekniğinde ise iyonlar kristal hacminin içinde fazla uzağa yayılmadığından bir safsızlık elementi kristal yüzeyinden çok derin olmayan herhangi bir noktaya yerleştirilebilir. Böylelikle, kristalin seçilen farklı bölgeleri değişik renklerde elde edilebilmektedir.



Şekil .4.1.İyon demeti ivmelendiricisinin şematik gösterimi

Şekilde görüldüğü gibi seçilen metal iyonu , iyon plazma kaynağına yerleştirilir. Kaynaktan çıkan metal iyonlarına, ivmelendirme voltajı uygulanarak istenilen enerjiye sahip iyon demeti manyetik ayırıcı yardımıyla hedef kristale yönlendirilir.

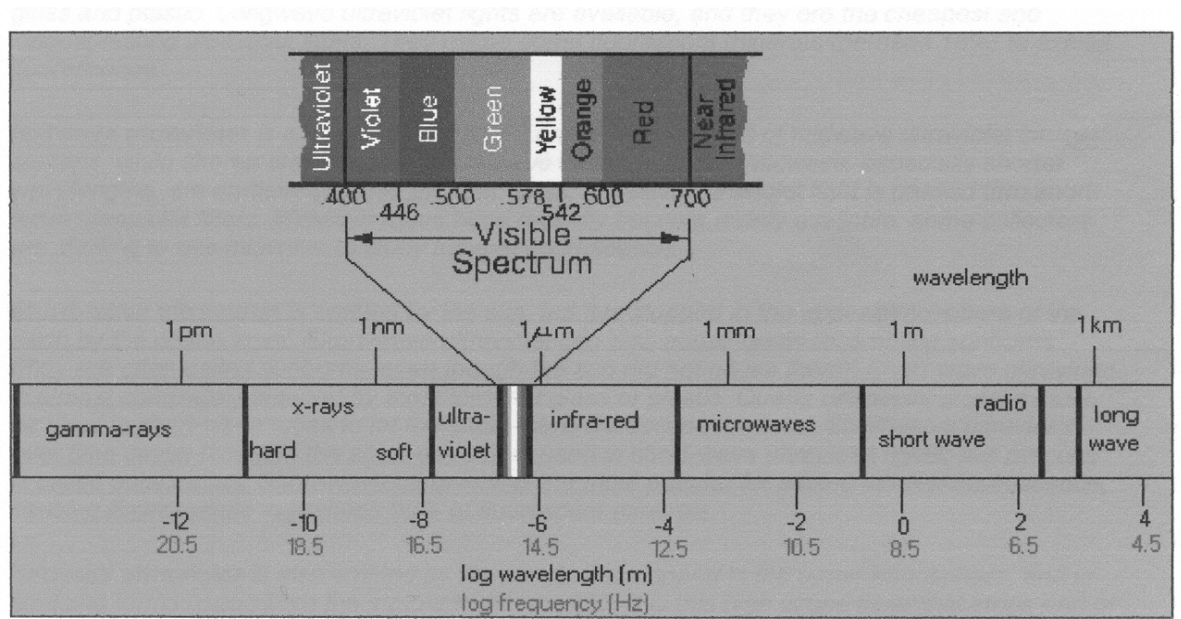
4.2. Isıtma

Isıtma, kristale bir enerji akışı olduğundan kristalin yapısında kusurlar oluşturabilir veya yapıda var olan defektlerin özelliklerini (kimyasal durumları, yapıdaki yeri, vb.) değiştirerek renk değişimine sebep olabilir.



Şekil .4.2.Elektrik fırını

4.3. Optik Özelliklerin İncelenmesi



Şekil. 4.3. Elektromagnetik spektra

Işık enerjinin bir formudur. Işığı oluşturabilmek için mutlaka başka bir formda enerji verilmelidir. Bunu yapmanın iki yolu vardır: akkorluk (incandescence) ve luminesans

4.3.1. Akkorluk

Akkorluk (beyaza kadar ısıtma) ısı enerjisinden gelen ışıktır. Bir şeyi yeterli sıcaklığa kadar ısıttığınız zaman cisim akkorlaşmaya başlar. Elektrikli sobanın ısıtıcısı veya ateş içindeki metal akkorlaşmaya “kırmızı sıcaklık” başladığında bu bir akkorluktur. Sıradan bir akkorluk ışık ampulünün tungsten flamenti daha yüksek sıcaklığa ısıtılırsa “beyaz sıcaklık” denen daha parlak bir ışık yayarlar. Güneş ve yıldızların yaydıkları ışık akkorluktur.

4.3.2. Luminesans

Luminesans soğuk ışıktır, yani farklı enerji kaynaklarından gelen ışıktır. Normal ve düşük sıcaklıklarda oluşur. Luminesansta bazı enerji kaynakları atomun

bir elektronunu onun taban durumundan (en düşük enerji düzeyi), uyarılmış bir duruma (yüksek enerji) geçmesini tetikler; sonra elektron enerjiyi ışık formunda geri vererek taban durumuna geri dönebilir.

4.3.3. Fosforesans

Fosforesans geciktirilmiş akkorluktur. Bir elektron, yüksek bir enerji seviyesine çıkarıldığında orada bir süre tutulabilir. Bazı durumlarda elektron zamanla bu kapandan kaçır. Diğer durumlarda elektron, bir tetikleyici onu serbest bırakana dek kapanda tutulabilir. Çocuk oyuncaklarında enerjiyi ışıktan alan ve daha sonra enerjiyi geciktirilmiş ışık olarak yayan maddeler vardır.

4.3.4. Sürtünmeli Işıldama

Sürtünmeli ışıldama (triboluminesans) mekanik hareketle tetiklenen fosforesans veya mekanik hareketle oluşturulan elektrikle uyarılan elektrolüminesanstır. Bazı mineraller vurulduğunda veya çizildiğinde ışık yayarlar. Örnek: Kuartz taşlarını karanlıkta kuvvetli şekilde vurmaktır.

4.3.5. Termolüminesans

Belirli bir nokta üzerindeki sıcaklıklarda sınırlandırılmış fosforesanstır. Bu, yüksek sıcaklıklarda meydana gelen akkorluk ile karıştırılmamalıdır. Termolüminesansa ısı, temel enerji kaynağı değildir. Isı, başka kaynaklardan gelen enerjinin serbest kalması için bir tetikleyicidir.

4.3.6. Floresans

Floresans ve bununla ilişkili olan fosforesans materyallerin UV ışığına tabi tutulduğunda görünür ışık yayan veya UV ışığına tabi tutulduktan sonra ışık yaymaya devam eden maddelerin özellikleridir.

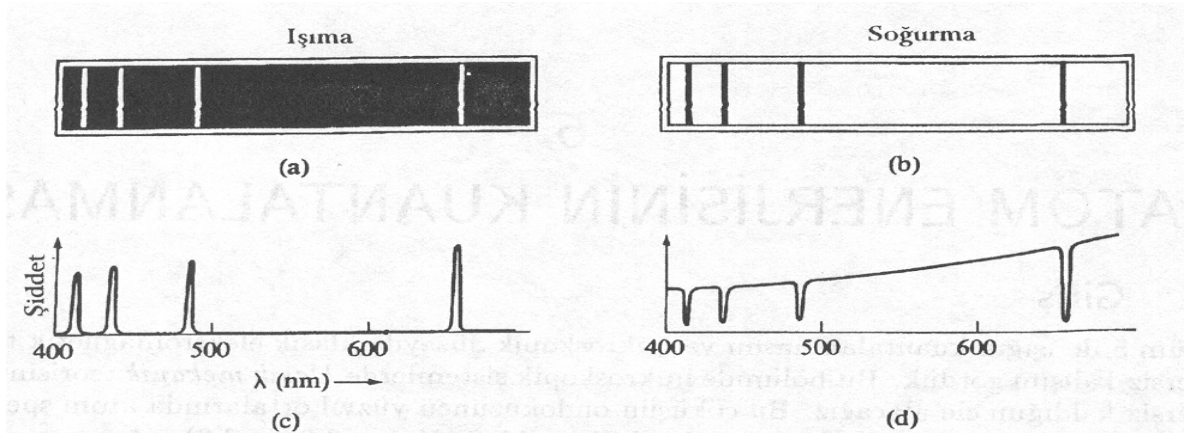
Kararlı atomlar UV ışığına maruz bırakıldığında; bir UV fotonu bir elektronun düşük enerjili bir seviyeden yüksek enerjili bir seviyeye geçişine sebep olur. Daha sonra uyarılmış elektron ekstra enerjisini görünür ışıktaki bir foton olarak yayınlayarak eski seviyesine döner. Bu görünür ışık gözlerimizin algıladığı florescent ışıktır. Renk, yayımlanan ışığın dalga boyuna bağlıdır. Bu dalgaboyu da elektron uyarılmasına maruz kalan atomun tipine bağlıdır.

4.4. Absorbsiyon Ve Emisyon Spektrumları (Soğurma Ve Işıma Spektrumları)

19. yy' ın ortalarına gelindiğinde tüm gazların ışığın soğurduğu bu soğurmanın gaz, atom ve moleküllerinin cinsine bağlı bazı özel dalga boylarında olduğu biliniyordu. Örneğin, tek bir atom türünden oluşan gaz içinden beyaz ışık geçirilirse, gaz atomlarının karakteristiği olan bazı dalga boylarındaki ışık soğurulacaktır. Bu gazı geçen ışık, bir prizmadan veya kırınım ağından geçirilirse soğurma spektrumu denilen, gökkuşağının tüm renkleri arasında karanlık soğurma çizgileri olan bir spektrum elde edilir.

Ayrıca gaz, yeterince ısıtıldığında ışık salar. Yayınlanan bu ışığı oluşturan dalga boyları beyaz ışığın bu gaz tarafından soğurulan dalga boylarına eşit olur. Yayınlanan bu ışık prizmadan geçirilirse, karanlık bir geri plan önünde parlak çizgiler gözlenir. Buna ışıma spektrumu denir.

Hidrojen atomlarının soğurma ve ışıma spektrumları şekil.4.4' de gösterilmiştir. Her atom veya molekül kendine özgü dalga boylarında ışık soğurur veya salar. Bu nedenle ışıma ve soğuma spektrumları tıpkı bir parmak izi gibi kristallerin tanımlanmasında kullanılabilir.



Şekil 4.4. Atomik hidrojenin ışıma ve soğurma spektrumları (a) ışıma spektrumu: beyaz çizgiler karanlık bir film üzerinde parlak yerlerdir. (b) ışıyan ışık şiddet eğrisi; spektrumdaki beyaz çizgilere karşılık gelen piklerin bağıl şiddeti sıcaklığa bağlıdır. (c) Soğurma spektrumu: siyah çizgiler aydınlık bir film üzerindeki karanlık yerlerdir. (d) Soğrulan ışık şiddet eğrisi; spektrumdaki karanlık çizgilere karşılık gelen ışık şiddetindeki azalma görülmektedir.

4.5. X Işımları Spektroskopisi

Bohr teorisinin deneysel başarıları hep pozitif bir yük etrafında dönen tek elektronlu sistemlerle ilgili olmuştur. Bu taslağa uyan başka bir sistem daha vardır. Çok elektronlu atomların en iç yörüngedeki elektronları, daha dışarıdaki yüklerin dağılımı küresel simetrik kabul edilirse (bu yaklaşıklık kısmen doğrudur) dış elektronların en iç yörüngedeki elektrona uyguladıkları net kuvvet sıfırdır. O halde en iç yörüngedeki elektron sadece çekirdeğin Z_e yükünün etkisiyle hareket eder. Alabileceği enerji değerleri ;

$$E_n = -Z^2 E_R / n^2 \quad (2.1)$$

Burada ki Z faktöründen dolayı orta ve ağır atomlarda iç elektronlar çok sıkı bağlı olurlar. O halde iç elektronların yaptığı geçişlerde çok yüksek, binlerce eV mertebesinde enerji gerekir. Özellikle böyle bir geçişte soğurulan veya ışıyan foton X ışını fotonu olmalıdır.

Moseley, karakteristik X ışınlarını açıklamasını yaptı. Bir X ışını tüpünde yüksek enerjili elektronlar anoda çarparak bir veya çok sayıda elektron koparırlar. Koparılan elektron $m=1$ düzeyinde ise, bu düzeyde bir elektron boşluğu kalır. Daha dış yörüngedeki elektronlar bu boşluğu kapatmak için geçiş yaparlar. Örneğin $n=2$ den $n=1$ deki boşluğa geçtiğinde yayınlanan fotonun enerjisi:

$$E_{\text{foton}} = E_2 - E_1 = Z^2 E_R (1 - 1/4) = 3/4 Z^2 E_R \quad (2.2.)$$

X ışınlarını adlandırmakta simgeler kullanılır. Özellikle $n=2$ ile $n=1$ arasında olana K_α geçişi denir. buna göre Bohr teorisi soğurulan ve yayınlanan K_α fotonlarının enerjisinin $3/4 Z^2 E_R$ olacağını öngörmektedir. Farklı elementler kullanılır ve karakteristik K_α X ışını frekansları ölçülürse foton enerjilerinin veya frekanslarının atom sayısı Z ' nin karesiyle değiştiğini söyleyebiliriz. Buna göre $f \propto Z^2$ olur. Bu bağıntı Moseley yasası olarak bilinir. Moseley yasası yukarıda yapılan yaklaşıklık sebebiyle deneyler ile birebir uyuşmaz. Perdeleme faktörü δ , göz önüne alınırsa

$$E_{\text{foton}} = 3 (Z - \delta)^2 E_R / 4 \quad (2.3)$$

olur. δ faktörü yaklaşık olarak 1 alınırsa deneylerle uyum göstermektedir.

Bu geçişler iç elektronu ilgilendirdiği için atomun içinde bulunduğu (örneğin atomun molekül veya katı hal yapısında oluşu gibi) dış koşullardan bağımsız olurlar.

Bu nedenle Moseley , X ışını spektroskopisinin çok duyarlı bir kimyasal analiz tekniği olduğunu söyledi.

Modern X ışını spektrometrelerinde numune elektron, proton veya X ışını demeti önüne konur. Numunedeki değişik türden atomların iç elektronları bu yolla koparıldıktan sonra, numune X ışını yaymaya başlar. Yayılan dalgaboyları ölçülerek numunede hangi tür elementlerin var olduğu milyonda birden daha düşük oranlarda olsa bile, tanımlanmış olur.

5.KRİSTALLER ÜZERİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

5.1.Safir İçine İyon İmplantasyonu Ve Sonuçları

20 keV enerjili Co iyonları ($5 \times 10^6 - 5 \times 10^7$ iyon/cm² dozunda) saydam, az renkli, sentetik safırlar içerisine imlant edildiler. İmplantasyona uğramış örnekler için ve implantasyona uğradıktan sonra periyodik olarak 1200°C'ye ısıtılmış örnekler için optik absorbsiyon spektrumu ve X ışınları fotoelektron spektroskopisi (XPS) ölçümleri yapıldı.¹

5.1.1.Sonuçlar

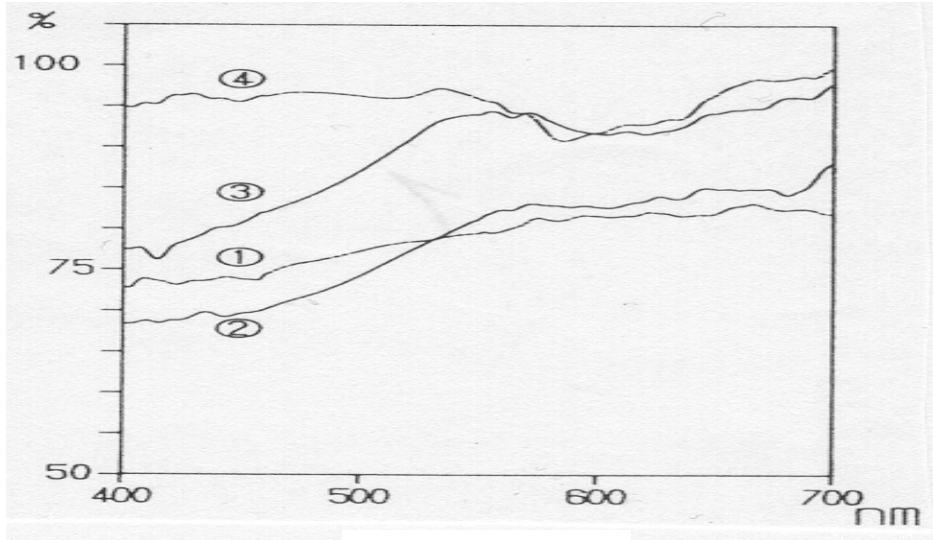
Tablo 5.1. 20 keV enerjili Co iyonları (5×10^6 iyon/cm²) implantasyona uğramış ve ardından 800°C'de tavlanmış ve 1000°C'de tavlanmış safir kristalinde renk değişimi

örnek	İmplantasyona uğramış	800°C'de tavlanmış	1000°C'de tavlanmış
az renkli	koyu gri	yeşil	parlak mavi

Saydamlığın ısıtılma sıcaklığına bağlılığı araştırılmıştır.Deney sonuçları şekil.5.1'de görülüyor.Saydamlık, implantasyona uğramış örnek ve ardından 600°C'ye ısıtılmış örnek için fazla değişmezken 800°C'de ısıtma ile yükselir ve 1000°C'de maksimum seviyeye çıkar. Daha yüksek sıcaklıklar için saydamlık değişmemektedir.

1. Yukinori Saito, Hajime Horie and Shinji Suganomata, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B59/60(1991) 1173-1176 North-Holland

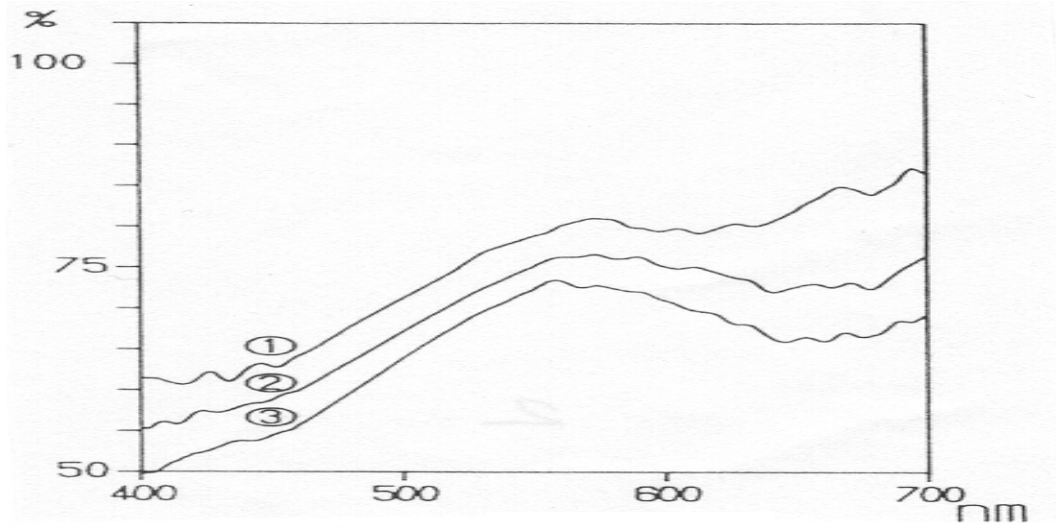
SAYDAMLIK



DALGABOYU

Şekil.5.1.Safirin Co iyonlarıyla (5×10^6 iyon/cm²) implantasyona uğramış bölgesinin implantasyona uğradıktan ve farklı sıcaklıklarda 3 saat ısıtıldıktan sonra saydamlığının değişimi (1) implantasyona uğramış (2) 600°C (3) 800°C (4) 1000°C

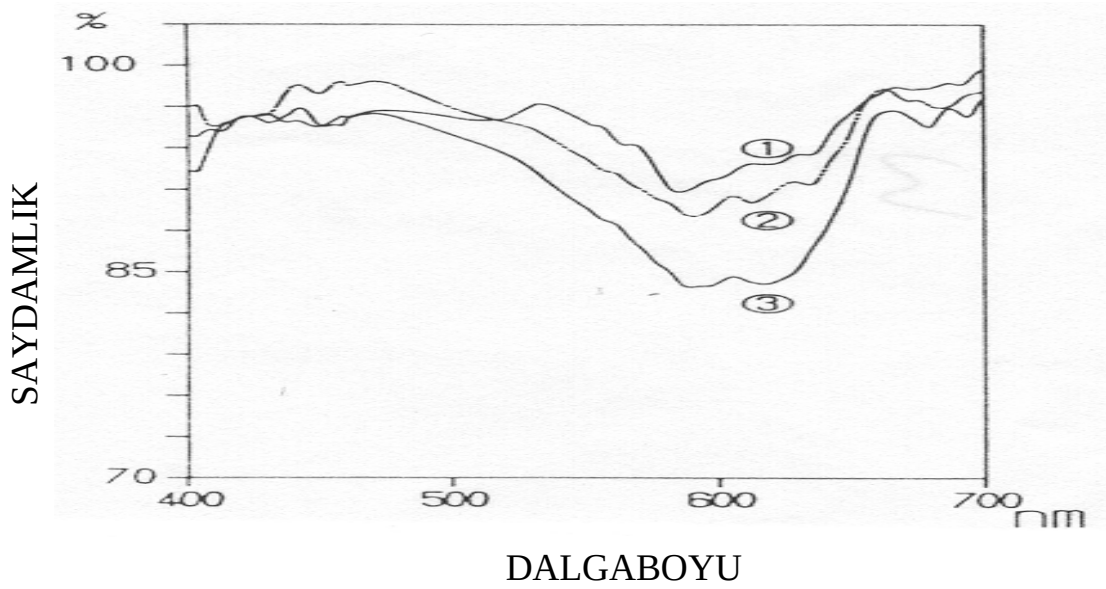
SAYDAMLIK



DALGABOYU

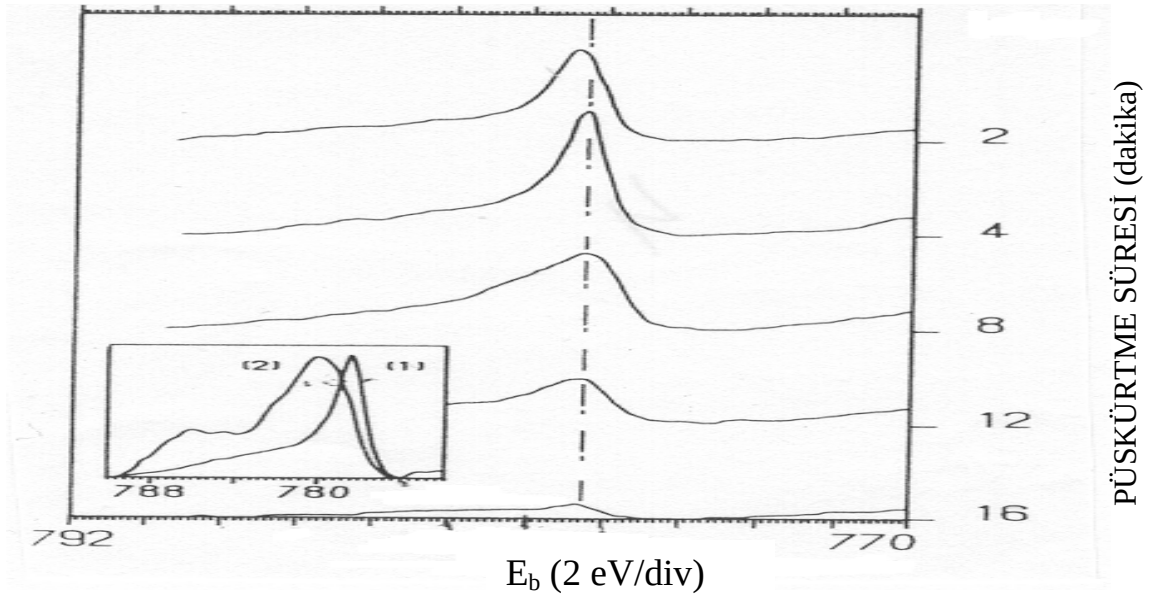
Şekil.5.2.Safirin Co iyonlarıyla (1×10^7 iyon/cm²) implantasyona uğramış bölgesinin havada farklı ısıtma süreleri için saydamlığının değişimi (1) 3 saat (2) 12 saat (3) 48saat

Aynı sıcaklık (800°C) için saydamlığın ısıtma süresine bağıllığı araştırılmıştır. Deney sonuçları Şekil 5.2.'de görülüyor. Isıtma süresi uzadıkça absorpsiyon 530 nm dalgaboyunun altına düşmüş ve absorpsiyonun çukur yaptığı pozisyon $600\text{-}640\text{ nm}$ arasında uzun dalgaboylarına doğru hareket etme eğilimi göstermiştir. Renk yeşile dönmektedir.

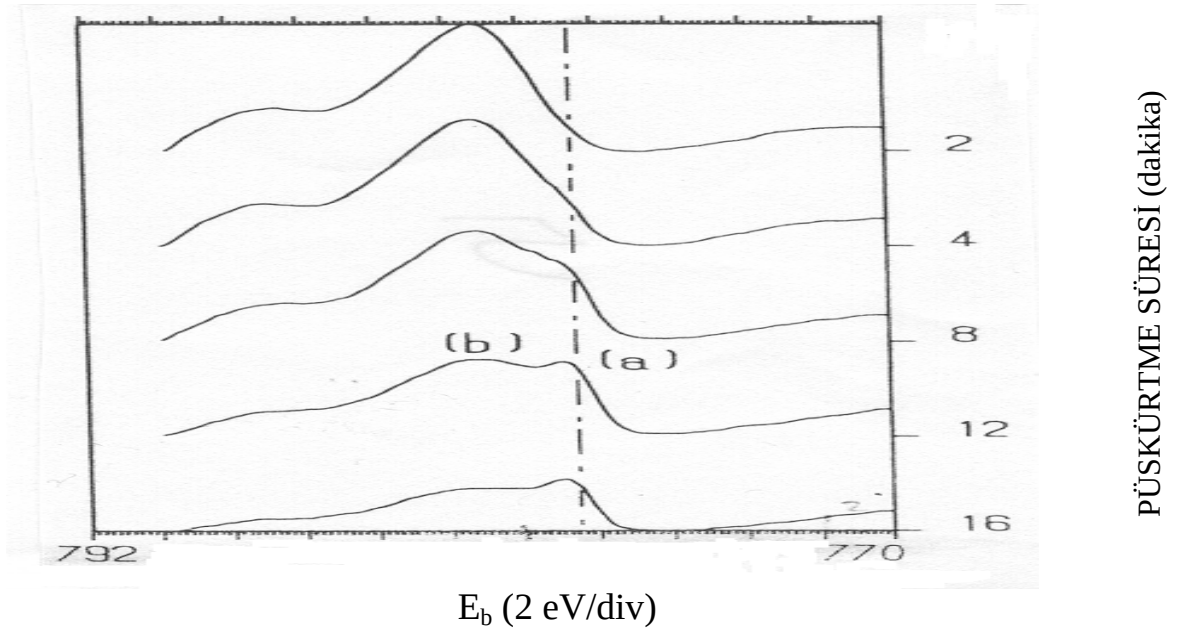


Şekil.5.3.Safirin farklı dozlarda Co iyonlarıyla implantasyonu ardından 1000°C 'de üç saat ısıtılan bölgesinin saydamlığının değişimi Co iyon dozu ($\times 10^{17}$ iyon/ cm^2) (1)0,5 (2) 2,0 (3)5,0

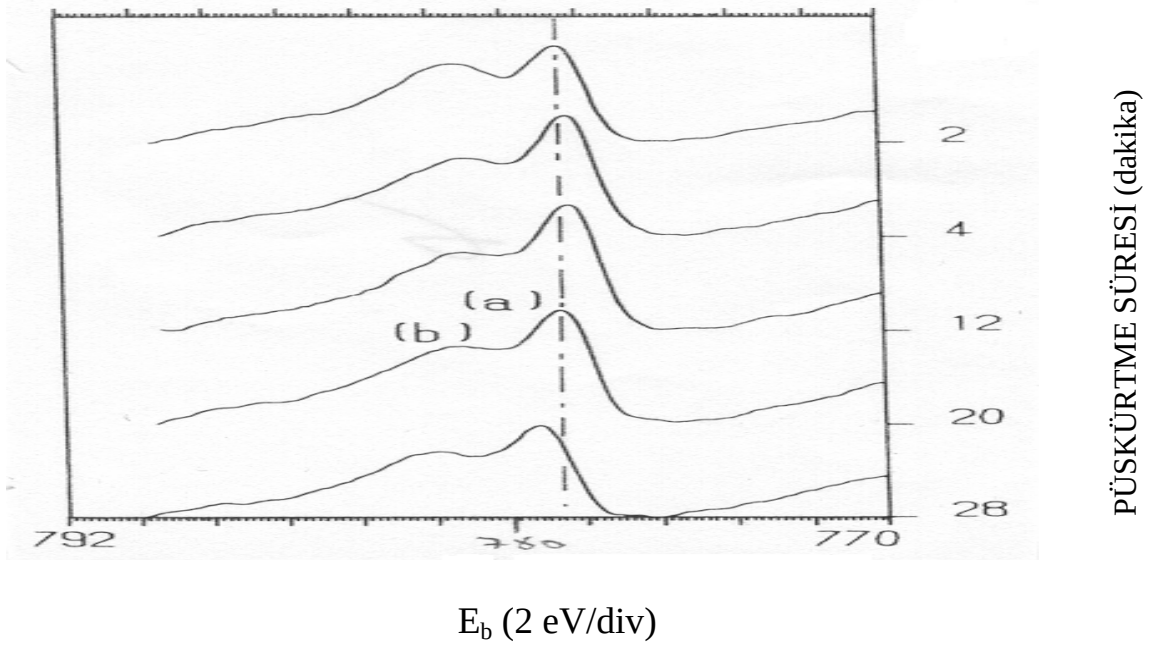
Safire implant edilen iyon miktarının saydamlığa etkisi de araştırılmıştır. Şekil 5.3'de görüldüğü gibi absorpsiyon çukuru, iyon dozunun artışıyla 610 nm civarında artarak merkezlenmiş ve dolayısıyla mavi renk de zenginleşmiştir.



Şekil 5.4.Safire implant edilen Co $2p_{3/2}$ 'nin (5×10^{16} iyon/cm²) sadece implantasyona uğramış safir için XPS spektrası. Küçük şekil (1) saf Co $2p_{3/2}$ metalinin XPS spektrası(2) 600°C'de oksijen akışıyla elde edilen XPS spektrası



Şekil 5.5.Safir içine implant edilen ve 800°C' de 3 saat ısıtılan Co $2p_{3/2}$ (5×10^{16} iyon/cm²) için XPS spektrası



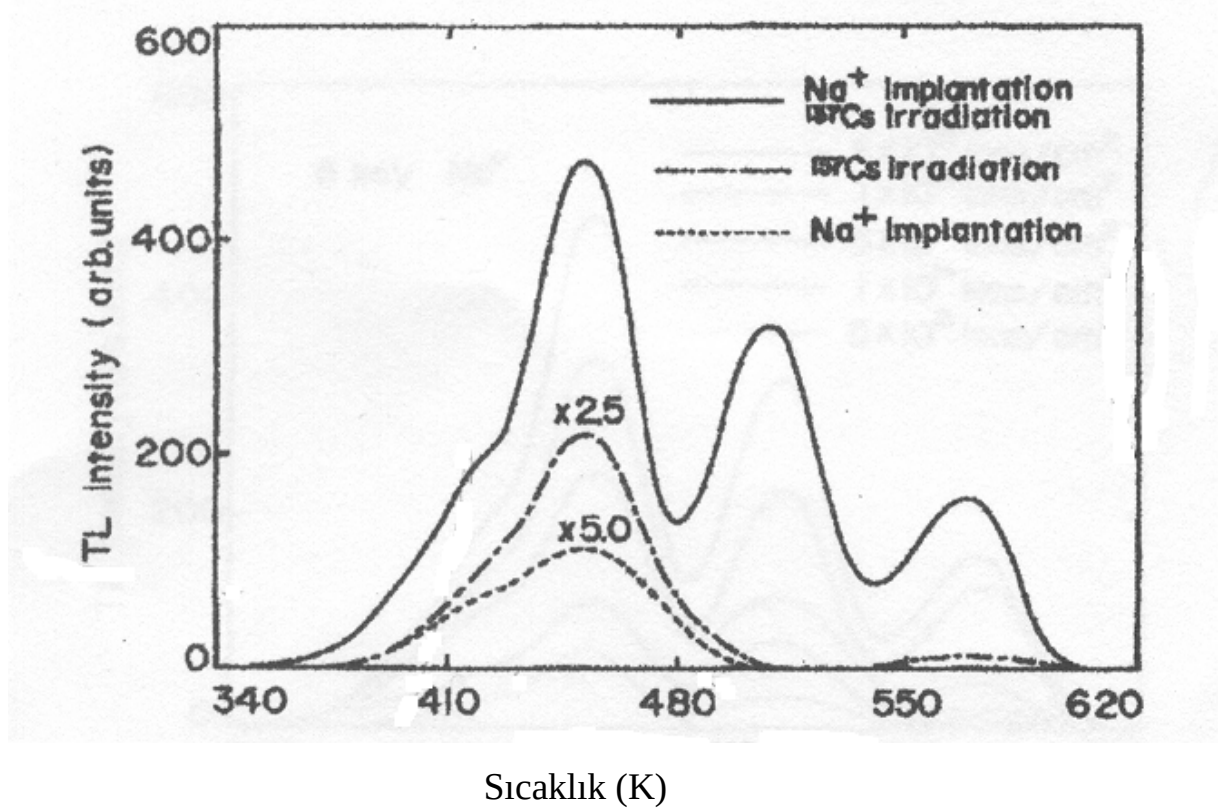
Şekil.5.6. .Safir içine implant edilen ve 1000°C' ye ısıtılan Co 2p_{3/2} (5x10¹⁶iyon/cm²) için XPS spektrası

Farklı püskürtme zamanları için Co 2p_{3/2}' nin XPS spektrası grafiklerde görülüyor. İmplant edilen iyonun spektrası saf metalin spektrası ile çakışmasına rağmen, tavlanmış örnekler için spektra 2 pik göstermektedir. Bu, renklendirilmiş safir içerisinde farklı bağlanma enerjilerine sahip (yani iki farklı oksidasyon durumunda olan) Co iyonlarının varlığını gösterir.

5.2. Safir Kristaline İyon İmplantasyonu Ardından Gama Radyasyonu Ve Sonuçları

Na⁺ iyonlarıyla implantasyona uğramış Al₂O₃, sadece ¹³⁷Cs gama ışınları radyasyonuna uğramış Al₂O₃ ve Na⁺ iyonlarıyla implantasyona uğradıktan sonra gama ışınları radyasyonuna uğramış Al₂O₃ için 340K – 620K arasında TL eğrileri elde edildi.¹

5.2.1. Sonuçlar



Şekil. 5.7. Na⁺ implant edilen ve ¹³⁷Cs gama ışınlarına maruz kalan , sadece ¹³⁷Cs ışınlarına maruz kalan ve sadece Na⁺ implant edilmiş Al₂O₃ 'ün TL eğrileri

Sadece Na⁺ ile implantasyona uğramış Al₂O₃ için kusurların konsantrasyonu artar. Çünkü iyon implantasyonu ile oluşan kusurlar kristal meydana gelirken oluşan kusurlara eklenir. Yük taşıyıcıları implant edilen iyonların elektronik çarpışmasıyla uyarılırlar ve artan kusurlara dolarlar. Böylece trap edilen yük taşıyıcılarının konsantrasyonu iyon implantasyonunun uyarıcı etkisiyle oluşur. TL eğrisi 452°K de pik yapar.

Sadece ¹³⁷Cs gama ışınlarına maruz bırakma, yük taşıyıcılarını kristalin oluşumu sırasında oluşan kusurların etrafında trap edilmesine neden olur. Bu durum için TL yoğunluğu ¹³⁷Cs gama ışınlarının dozuna bağlıdır ve sadece Na⁺ implant edilmiş Al₂O₃'den büyüktür. Çünkü ¹³⁷Cs gama ışınlarıyla uyarılmış trap yük

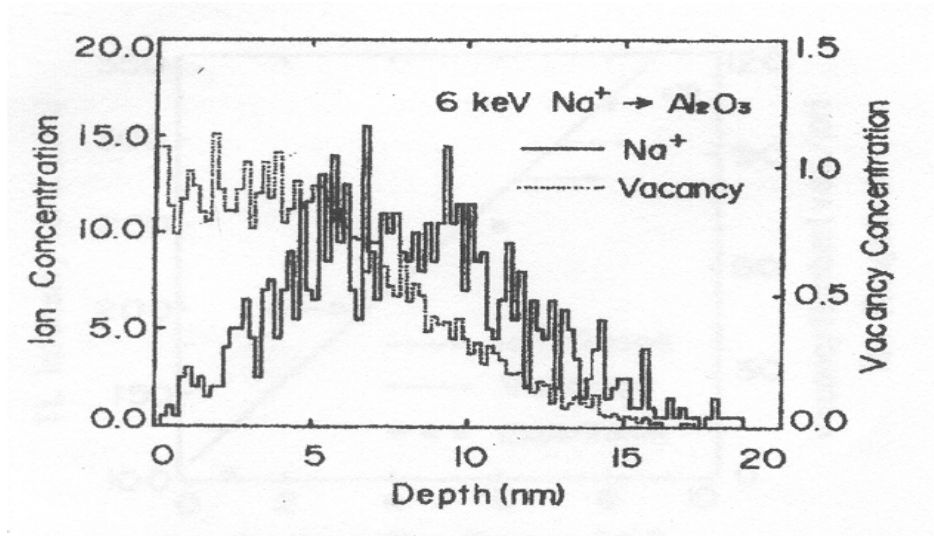
taşıyıcılarının konsantrasyonu iyon implantasyonu ile uyarılanlardan fazladır. TL 452°K ve 568°K’ de iki pike sahiptir.

Trap yük taşıyıcılarının konsantrasyonu implantasyon ardından gama radyasyonuna tabi tutulan örnekler için sadece Na⁺ iyon implant edilen örneklerden daha fazladır. Çünkü yük taşıyıcıları sadece iyon implantasyonu ile değil hem iyon implantasyonu ile hem de ¹³⁷Cs gama radyasyonu ile uyarılırlar.

Diğer yandan hem implantasyona hem de gama radyasyonuna tabi tutulan örneklerin kusur konsantrasyonu sadece ¹³⁷Cs gama radyasyonuna maruz kalan örneklerden daha fazladır. Çünkü ikinci durumda kusurlar sadece safir oluşumu sırasında meydana gelirken ilk durumda yapı oluşumu sırasındaki kusurlara ek olarak iyon implantasyonu ile oluşan kusurlar vardır.

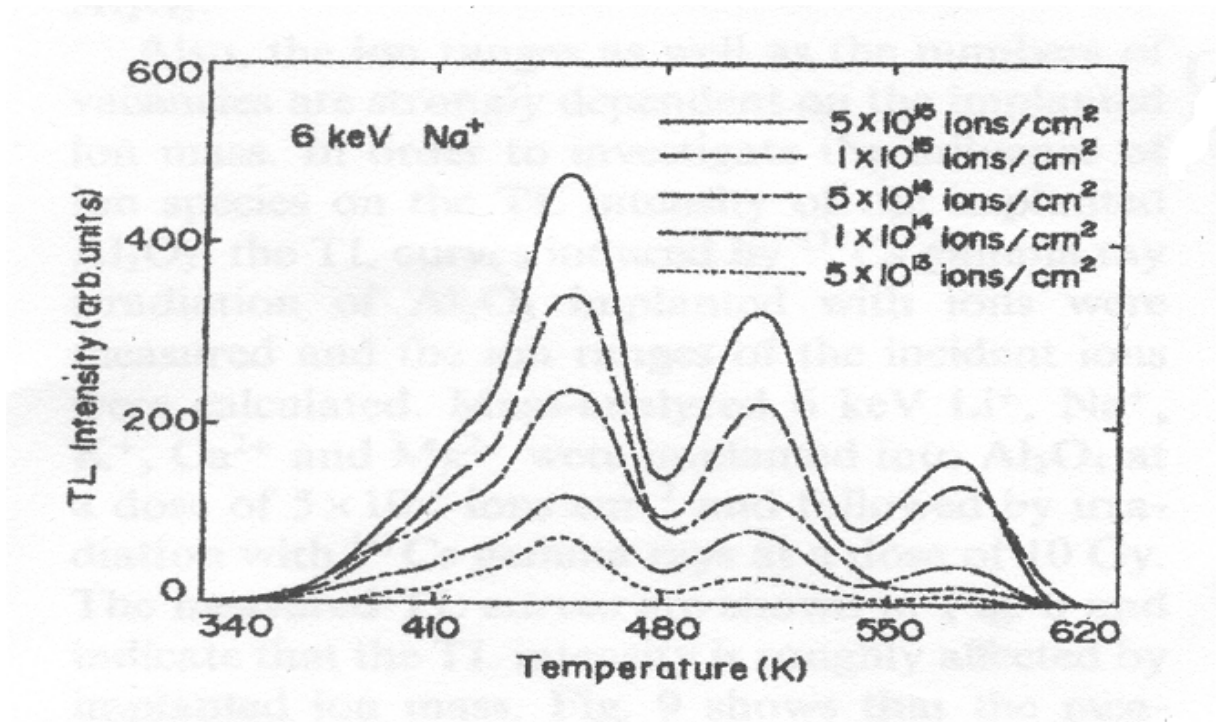
Dolayısıyla iyon implantasyonu ardından gama radyasyonuna uğrayan örneklerin TL yoğunluğu sadece iyon implant edilen ve sadece gama radyasyonuna tabi tutulan örneklerinkinden yüksektir. Çünkü, yapı kusurları konsantrasyonu ve trap yük taşıyıcılarının sayısı da , implantasyon ve radyasyona uğrayan örneklerde diğer iki duruma göre daha yüksektir.

Şekil 5.7.’de görüldüğü gibi Na⁺ implant edilmiş ve ¹³⁷Cs gama ışınlarına maruz kalmış örneklerin TL eğrisi 452, 508 ve 568°K de üç pik gösterir. Gama ışınlarına tabi tutulan veya iyon implant edilen Al₂O₃’ün TL eğrisindeki ana pik 452°K’ de merkezlenir. (Bu pik bilinen UV dozimetri için kullanılır.)



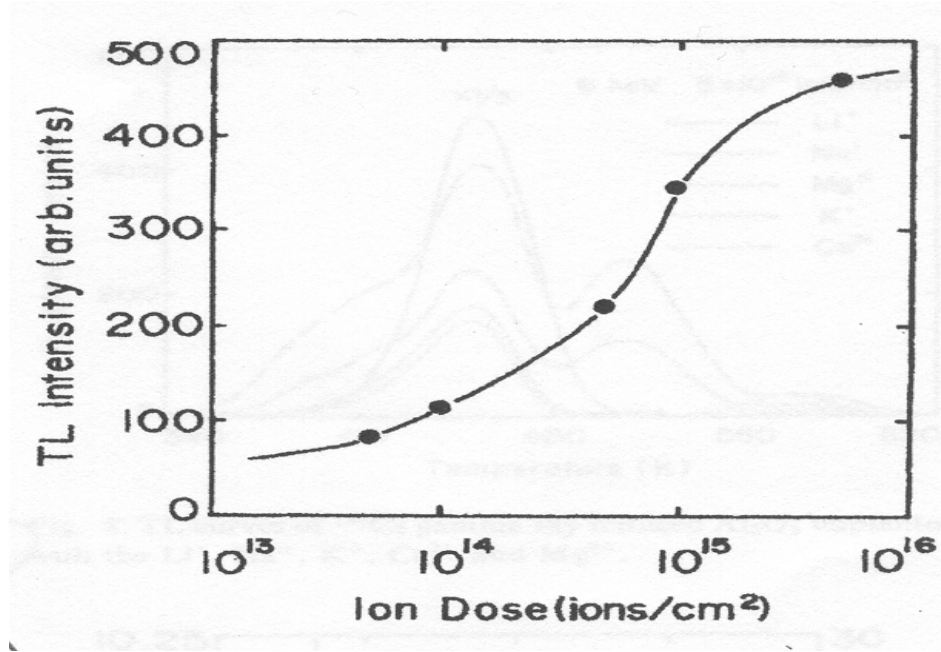
Şekil 5.8. Derinliğin fonksiyonu olarak Na^+ ve boşluk dağılımı

Boşlukların ve Na^+ iyonlarının derinliğe bağlı olarak dağılımı hesaplamaları verilmektedir(Şekil 5.8). Hesaplamalar 6 keV enerjili 1000 tane iyon için bir simülasyon programı olan TRIM'de yapıldı.



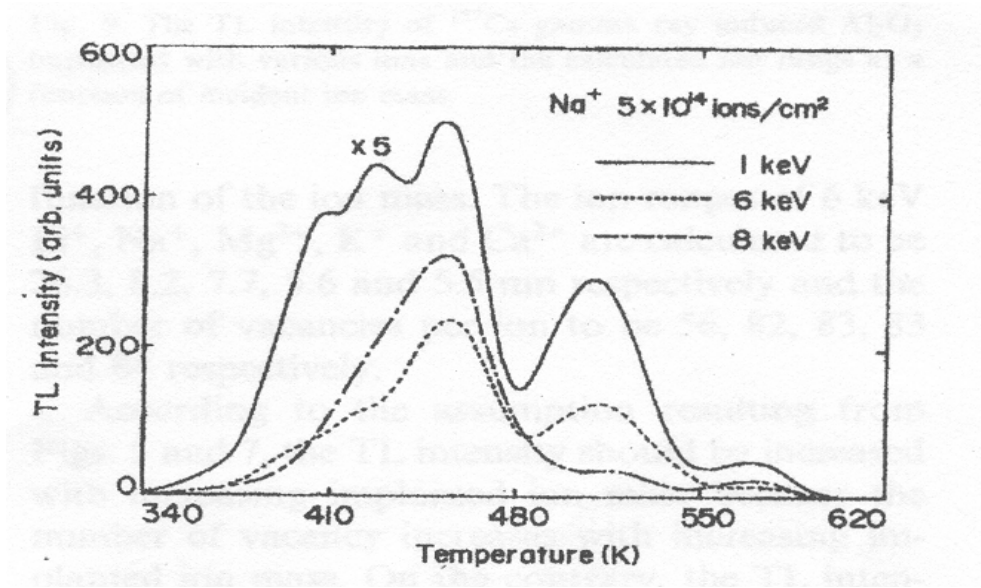
Şekil 5.9. Na^+ iyonlarıyla farklı dozlarda implantasyona uğrayan ve ardından ^{137}Cs gama radyasyonuna maruz kalan Al_2O_3 'ün TL eğrileri

Şekil 5.9. farklı iyon dozlarında 6 keV enerjili Na^+ iyonlarının implantasyonuna uğrayan ve gama radyasyonuna maruz kalan Al_2O_3 için TL eğrilerini gösteriyor. Bu grafikte TL yoğunluğunun iyon dozuyla ilişkisi araştırılmıştır.



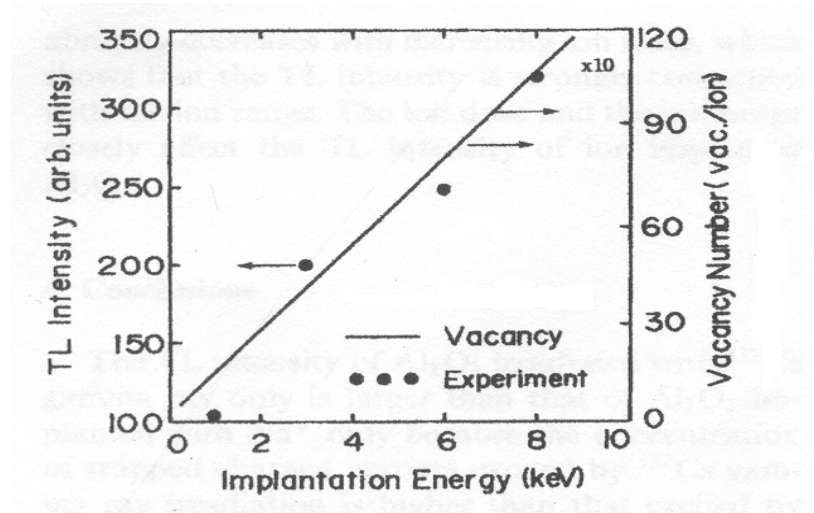
Şekil 5.10. İmplantasyona uğramış ve ardından gama radyasyonuna maruz kalmış Al_2O_3 için TL yoğunluğunun iyon miktarına bağlılığı

Şekil 5.10. ise 452°K'deki TL yoğunluğu pikinin Na^+ iyon dozunun artışıyla birlikte arttığını gösteriyor. Şekil 4.8'de gösterildiği gibi iyon implantasyonu sırasında boşluk zorunlu olarak oluşur. Boşluklar iyon dozuyla arttığı için , TL yoğunluğunun , boşluk ve iyon dozunun artışına eşlik ederek arttığı düşünülebilir.

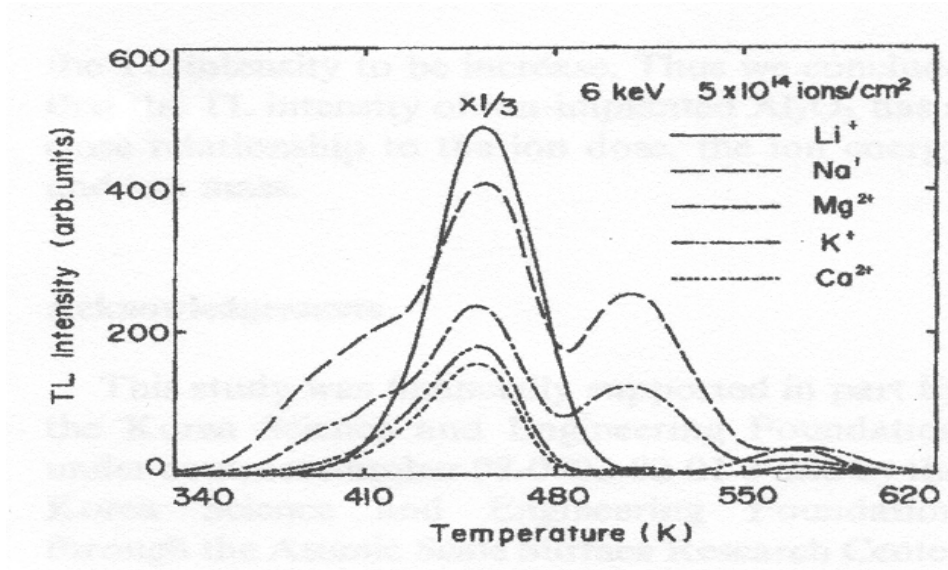


Şekil 5.11. Farklı enerjideki iyonlarla implant edilmiş Al_2O_3 'ün gama radyasyonu ardından TL eğrileri

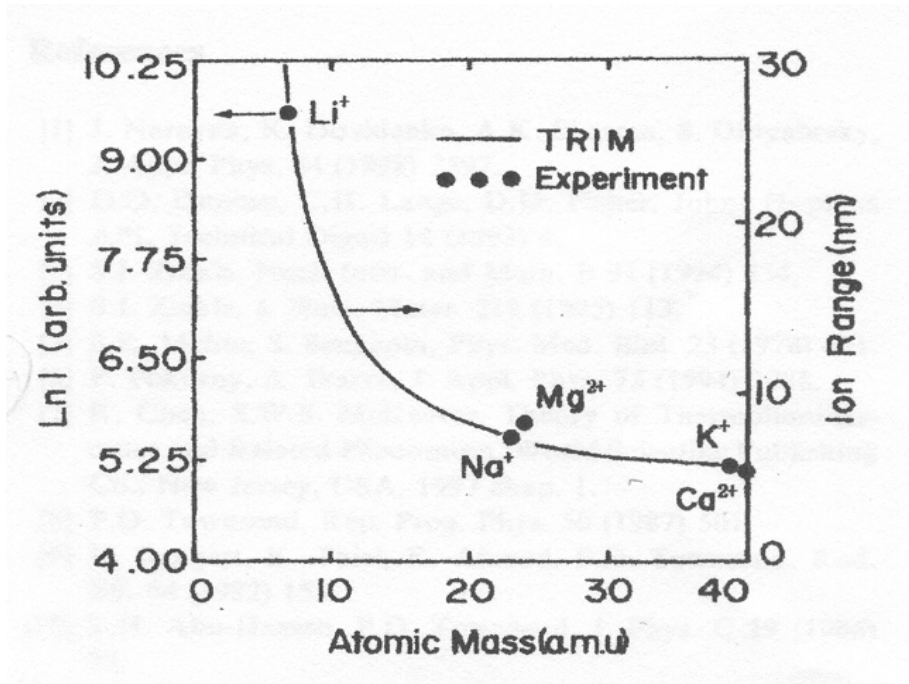
Şekil 5.11. farklı enerjideki Na^+ (5×10^{14} iyon/ cm^2) iyonları implant edilen ve ardından gama radyasyonuna tabi tutulan Al_2O_3 için TL eğrilerini gösteriyor. İyon enerjisi arttıkça 407°K ve 415°K 'deki omuzlar küçülerek 452°K TL pikine katılırlar.



Şekil 5.12. Na^+ implant edilen ve ^{137}Cs gama ışınlarına tabi tutulan Al_2O_3 için TL yoğunluğu ve iyon başına düşen boşluk sayısının enerjinin fonksiyonu olarak hesaplanan değeri



Şekil 5.13. Li^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarıyla implant edilmiş ve ardından ^{137}Cs gama radyasyonuna uğratılmış Al_2O_3 için TL eğrileri



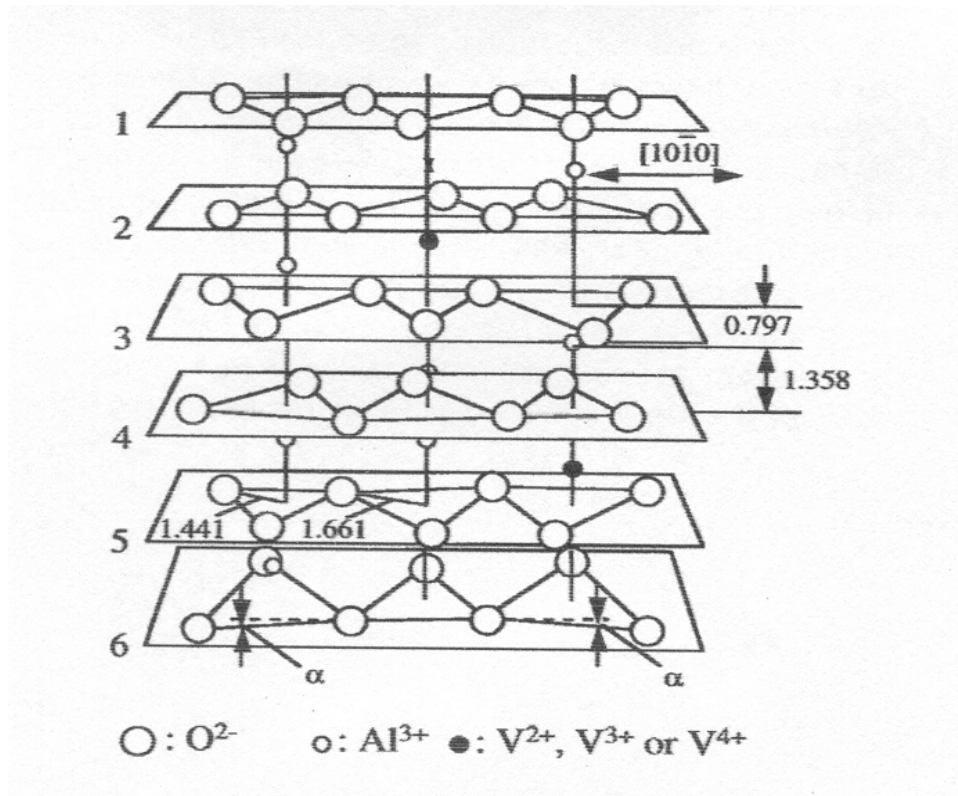
Şekil 5.14. Farklı iyonlarla implant edilip ardından ^{137}Cs gama ışınlarına maruz bırakılan Al_2O_3 için TL yoğunluğu ve iyon kütlelerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanan iyon nüfuzu (ion range)

Şekil 5.10'den Şekil 5.14'e kadar olan sonuçlara dayanarak söylenilebilir ki TL yoğunluğu iyon kütleleri arttıkça artmalıydı. Çünkü boşluk sayısı iyon kütleleri arttırıldıkça artıyor. Fakat TL, beklenenin aksine iyon kütleleri arttıkça düşüyor. İyon

kütlesi arttıkça nüfuz da düşüyor. Bu, TL yoğunluğunun iyon nüfuzuyla sıkı şekilde ilişkili olduğunu gösterir. Sonuç olarak; TL yoğunluğu Al_2O_3 'e implant edilen iyonların hem dozu hem de nüfuz yoğunluğuyla belirlenmektedir.

5.3. Safir Kristaline Elektron Radyasyonunun Etkisi

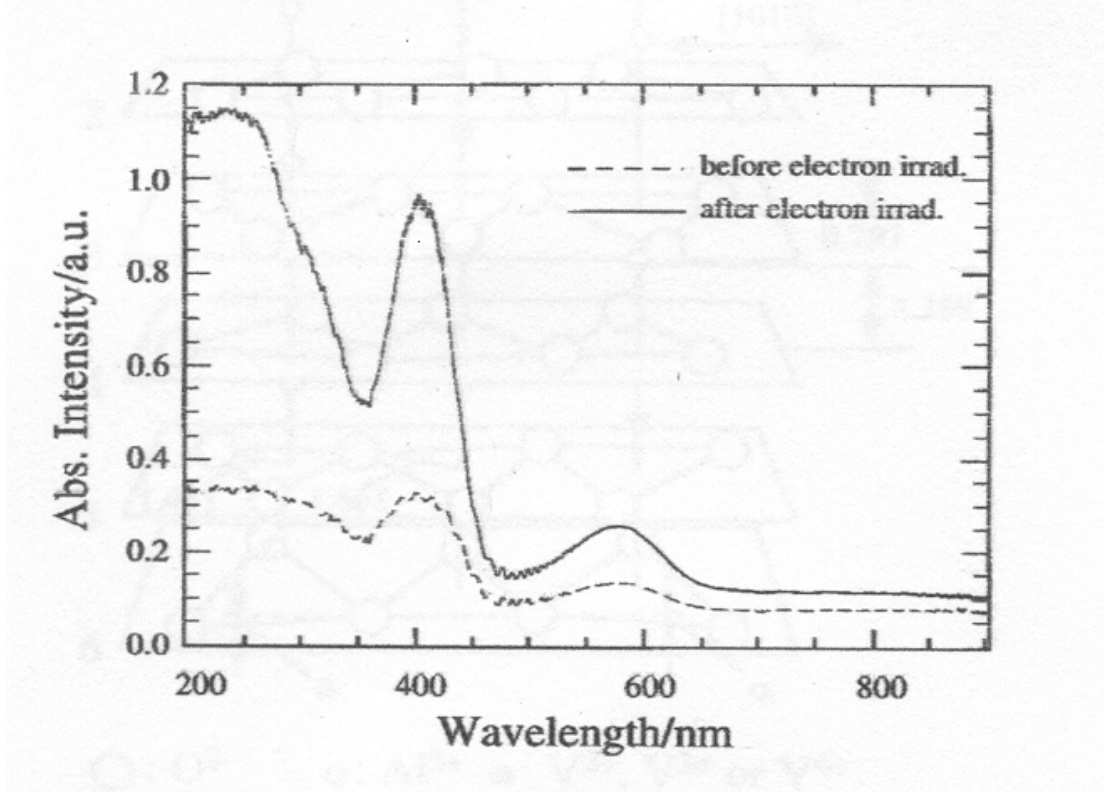
5.3.1. $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{V}$ Örgü Yapısı



Şekil 5.15.Safir:V kristalinin yapısı

Vanadyum, korondum (Al_2O_3) kristali içine katıldığında üç tane valans durumuna sahip V^{2+} , V^{3+} ve V^{4+} vanadyum iyonları, bazı Al^{3+} iyonlarının yerini alır. Bu iyonlar arasında konsantrasyonu en yüksek olanı V^{3+} 'dür.

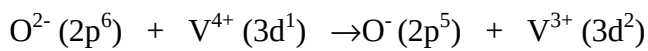
5.3.2.Radyasyonun Öncesi Ve Sonrasında Optik Spektrumun Değişimi¹



Şekil 5.16. Elektron radyasyonundan önce ve sonra V:Al₂O₃ kristalinin absorpsiyon spektrası

Şekil 5.16.'da görülen 400 ve 588,2 nm'deki absorpsiyon pikleri V³⁺ iyonlarının d-d geçişine karşılık gelir. Absorpsiyon piklerinin yeri değişmezken yoğunluğu arttı. Bu durum elektron radyasyonundan sonra V⁴⁺ iyonlarının elektron yakalayarak V³⁺ iyonlarına dönüşmesi ve V³⁺ iyon konsantrasyonunu arttırmasıdır.

Boşlukların değişimi:



1) Jin Zhang, Lin Li-Bin, Lin Li-Zhong, Jing Shi-Ji, Wang Guang-Can, Lu Yong, Jing Shou-Yong, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 141(1998) 446-449

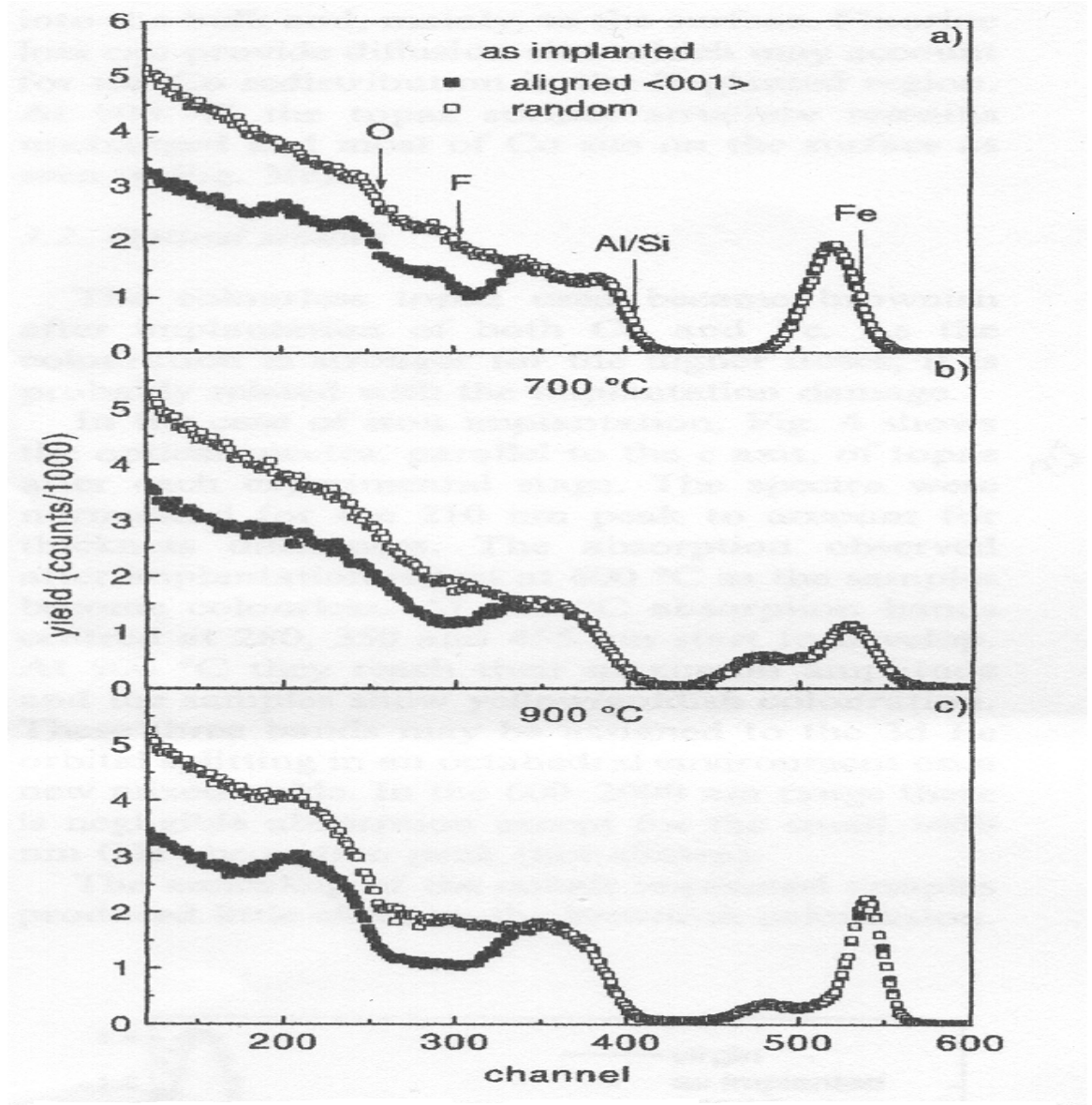
'dir. Elektron radyasyonundan sonra elektronlar O^{2-} iyonlarından ayrılarak V^{4+} iyonlarına yakalanır ve V^{4+} iyonları V^{3+} iyonlarına dönüşür. 200-360 nm geniş ultraviyole absorpsiyon bantı, yük transferine karşılık spektrada gözlemlendi.

5.4. Fe ve Co İyonları İmplant Edilen Topazın Yapısal Ve Optik Karakteristiği

Renksiz doğal kristal topaz örnekleri oda sıcaklığında ($5 \times 10^{16} - 2 \times 10^{17}$ ions/cm²) Fe ve Co iyonlarıyla implant edildiler. Örnekler 900°C'ye 100°C'lik periyotlarla ısıtıldılar.¹

1. C. Marques, A. Falcao, R.C. da Silva, E. Alves, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 191 (2002) 312-316

5.4.1. Yapısal Çalışmalar

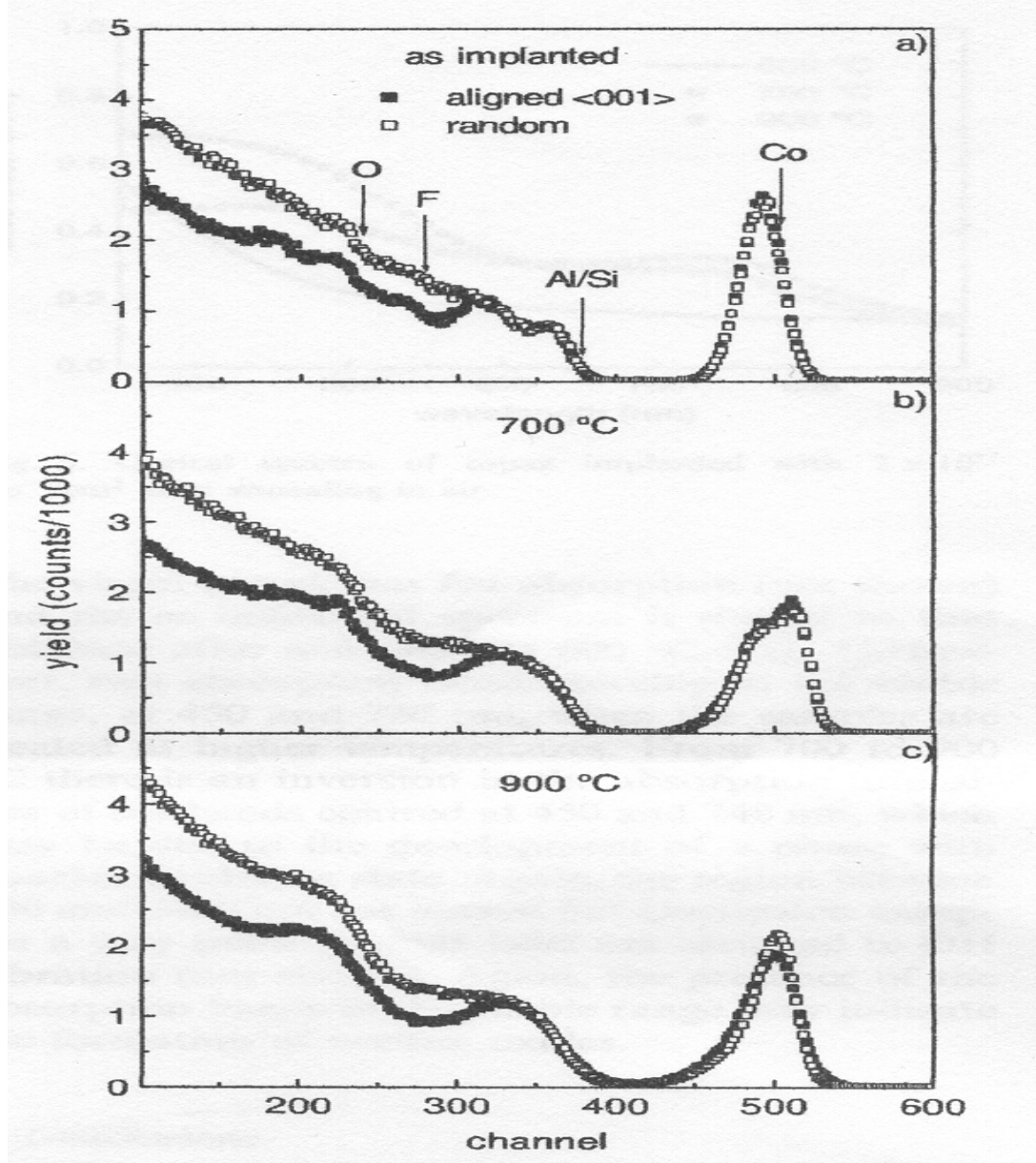


Şekil 5.17. Topazın RBS spektrası (a) ($1 \times 10^{17} \text{ Fe}^+/\text{cm}^2$) implantasyona uğramış ve ardından 1 saat (b) 700°C 'de ısıtılmış (c) 900°C 'de ısıtılmış

Şekil 5.17.(b) de görüldüğü gibi 700°C de florin kaybına, oluşan yeni kusurlar ve demirin hacim içine ve yüzeye dağılması eşlik eder. İmplantasyon sırasında zayıf Al – F bağları kopar ve bu sıcaklıkta serbest olan F , F_2 oluşturarak materyali terk edebilir.

800°C de iç kusurların ısıtılmasıyla ve matrisin yeniden kazanılmasıyla yüzeye doğru hareket başlar. Bu trend 900°C ye kadar devam eder. Bu sıcaklıkta maksimum kusur geri kazanımı oluşur ve yüzey demir konsantrasyonu %7 dir. Yüzey oksijen

miktarındaki hafif azalma yüzeyde Fe oksitlerin oluştuğunu düşündürüyor. Yüzey, eski kristalliliğini F kaybına bağlı olarak yeniden kazanamaz. Bu durum implantasyona uğramış bölgede yeni bir kristal yapı oluşumuna izin verebilir.



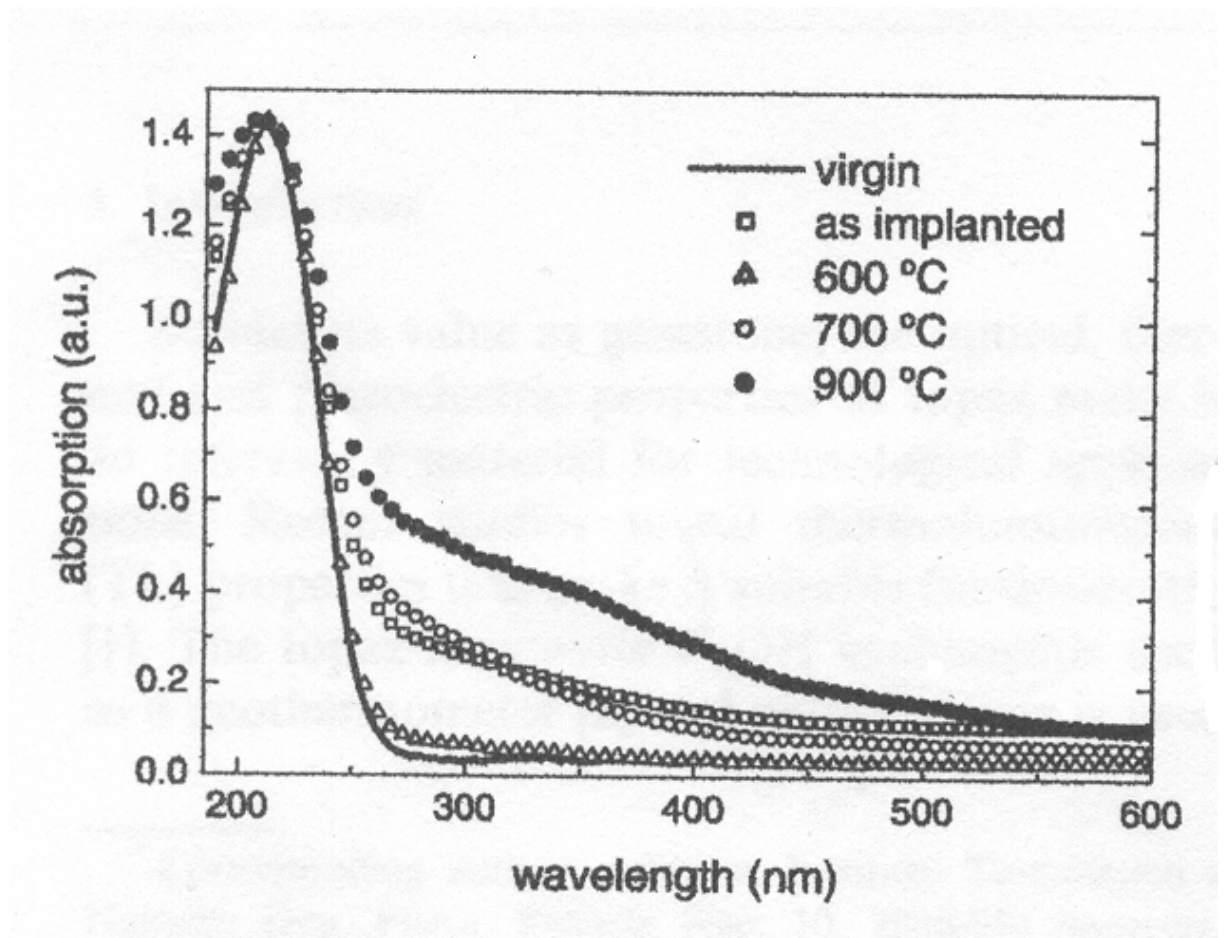
Şekil 5.18. Topazın RBS spektrası (a) ($2 \times 10^{17} \text{ Co}^+/\text{cm}^2$) implantasyona uğramış ve ardından 1 saat (b) 700°C 'de ısıtılmış (c) 900°C 'de ısıtılmış

Co iyonu implantasyonu ($5 \times 10^{16} \text{ iyon}/\text{cm}^2$) demir iyon implantasyonuna benzer sonuçlar gösterir. $2 \times 10^{17} \text{ iyon}/\text{cm}^2$ Co iyonları implant edilen örnekler 250 nm' ye uzanan biraz daha geniş amorf bölgeye sahiptir.(Şekil 5.18(a))

600°C de ısıtma, implant edilen profilin az miktarda genişlemesine sebep olur. Bu, florin kaybıyla ve yeni kusurların oluşumuyla ilişkilidir. 700°C de Co'nun difüzyonuyla, Fe de olduğu gibi, florinin tamamı kaybolur. (Şekil 5.18.(b))

Co difüzyonu hacme ve yüzeye olmaktadır. Florin kaybının difüzyon siperlerini oluşturma ihtimali implantasyona uğramış bölgedeki Co yeni dağılımını açıklayabilir. 900°C de topaz yüzey yapısı değişmez hale gelir.

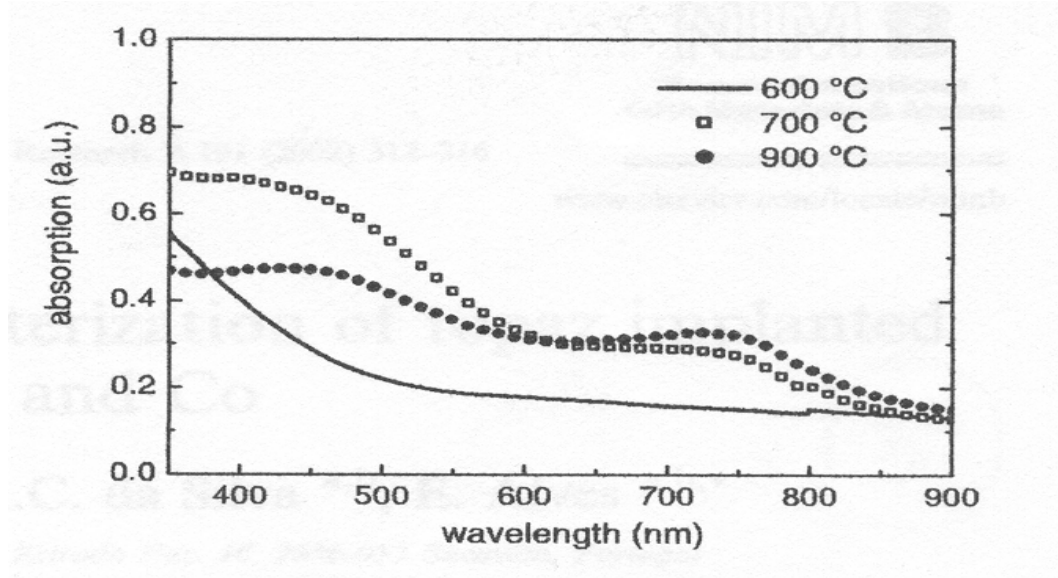
5.4.2. Optik Çalışmalar



Şekil 5.19. Fe⁺ iyonları (1×10^{17} iyon/cm²) implant edilen ve ardından periyodik olarak ısıtılan topazın optik spektrası

Renksiz topaz Fe ve Co implantasyonu ile kahverengimsi olmaktadır. Renklendirme yüksek dozlar için daha güçlü olduğu için bu durum implantasyondan oluşan kusurlarla ilişkili olabilir.

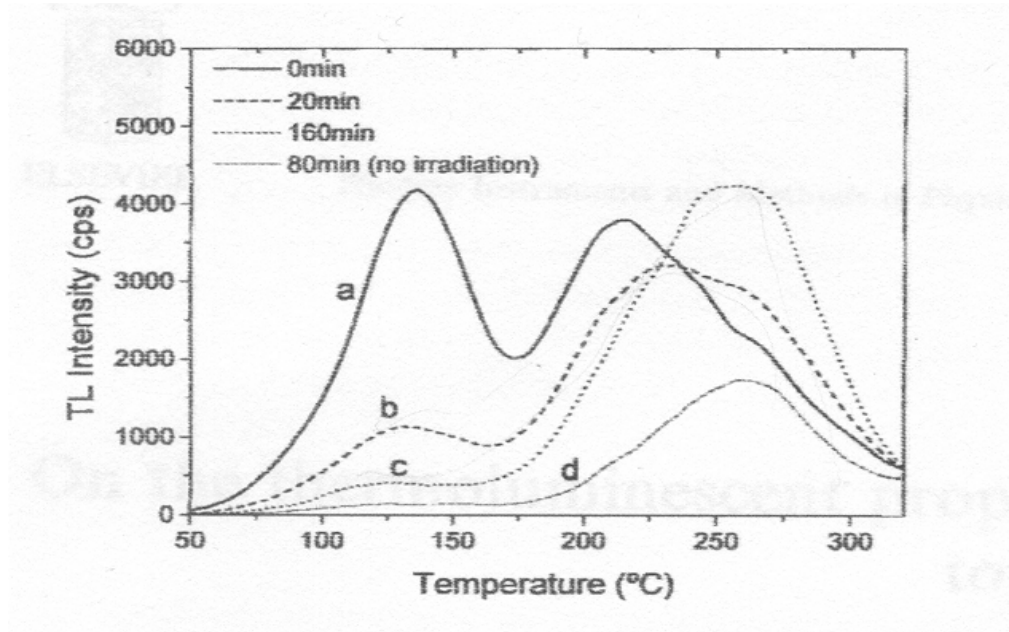
Şekil 5.19. topazın optik spektrasının her duruma karşılık c eksenine paralel olduğunu gösteriyor. İmplantasyon ardından elde edilen absorpsiyon 600°C de kaybolur ve dolayısı ile kristal renksiz olur. 700°C de absorpsiyon bantları 280,350 ve 455 nm’de oluşmaya başlar. 900°C de maksimum genliğe ulaşırlar ve kristal sarı altın renginde görünür. Bu üç bant oktahedral ortamda (yeni bir karışık oksitte) 3d Fe orbital yarılmalarına işaret edebilir.



Şekil 5.20. 2×10^{17} Co/cm² implant edilen topazın havada ısıtıldıktan sonra optik spektrası

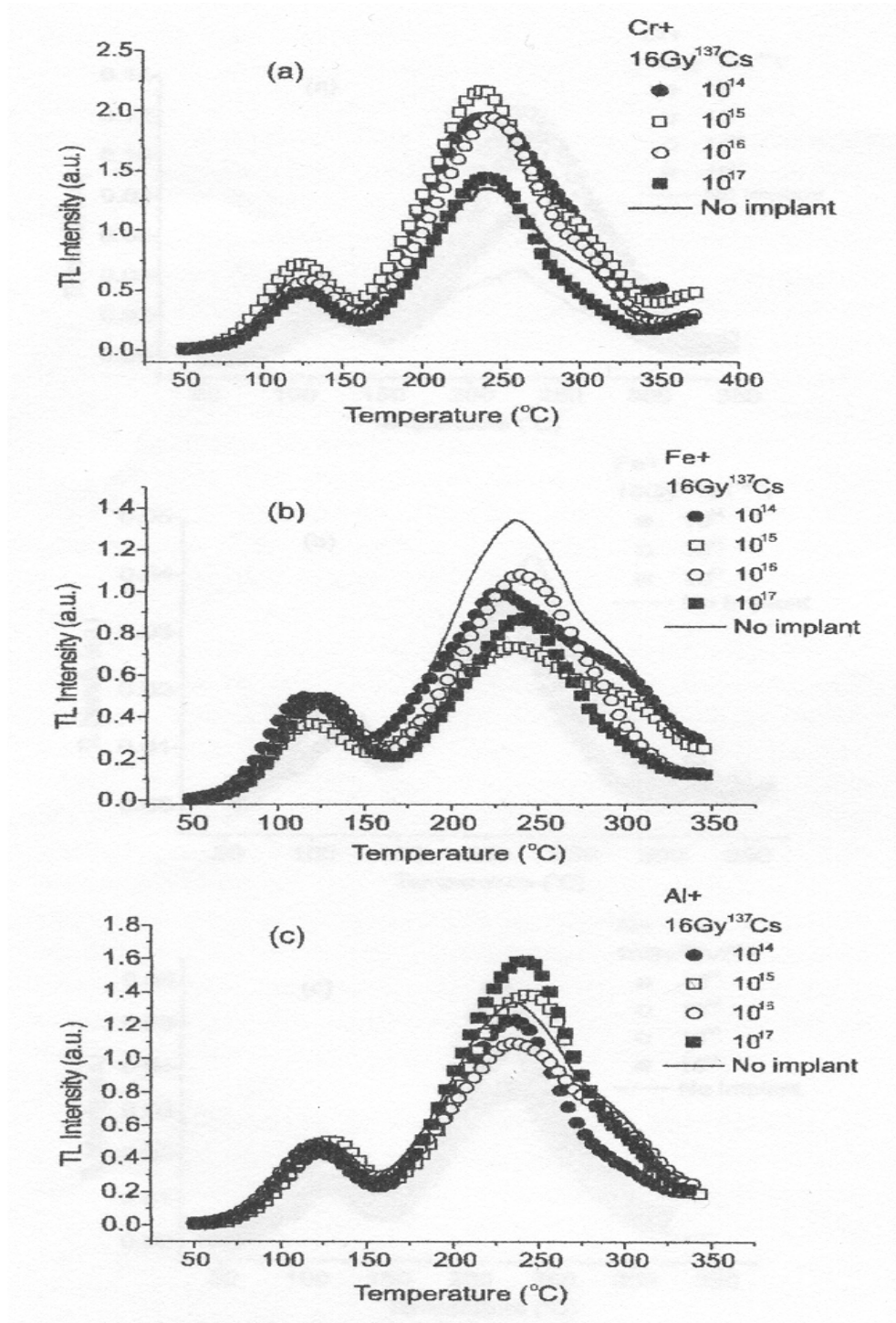
Co implant edilen örnekleri ısıtmak kahverengimsi renginde çok az değişiklik yapar. Şekil 5.20. de görüldüğü gibi, örnekler yüksek sıcaklığa ısıtıldığında 450 ve 740 nm görünür bölgede iki tane absorpsiyon bandı oluşur. 700°C den 900°C ye ısıtıldıkça 450 nm ve 740 nm’ de merkezlenen bantların absorpsiyon yoğunluğunda düşme gözlenir. Bunun sebebi diğer oksidasyon durumlarıyla faz oluşmasına bağlanabilir. Görünür bölgede absorpsiyon bantlarının varlığı yüzey oksitlerinin oluşmasına bağlanabilir.

5.5. UV Işıklarının Topaz Kristaline Etkisi ¹



Şekil 5.21. UV ışığının renksiz topaza etkisi a ,b ve c eğrileri 400°C /30 dakika ısıtılmış, γ ışınlarına maruz kalmış ve 0, 20 ve 160 dakika UV ışığı etkisinde bırakılmış örneğe aittir. d eğrisi için bütün şartlar aynı olup tek fark örneğin, daha önce γ ışınlarına maruz bırakılmaması ve UV ışığı etkisinin 80 dakika sürmesidir. Isıtma uygulaması 5°C/s dir.

5.6. Gama Işınlarnının Topaz Kristaline Etkisi¹



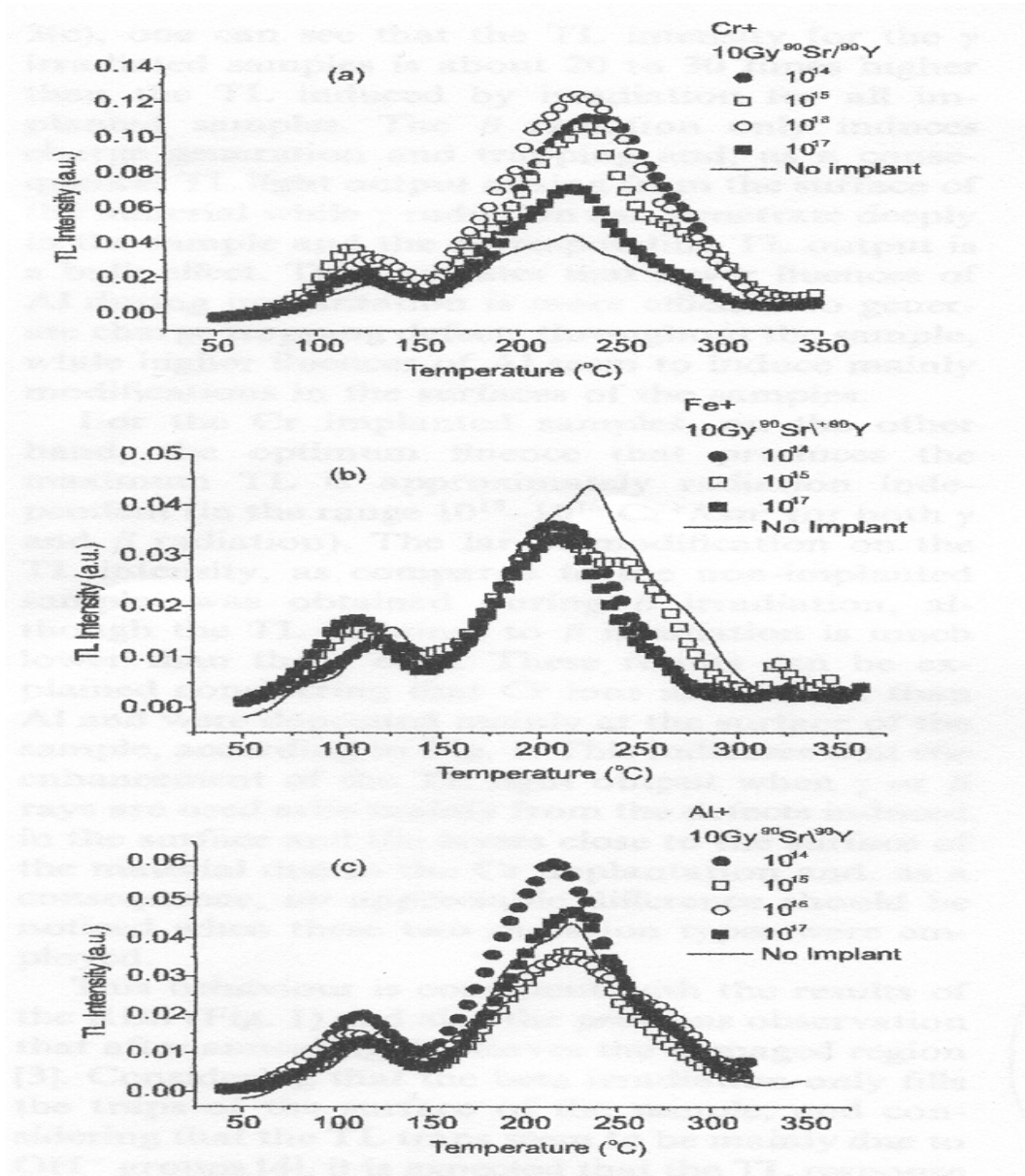
Şekil 5.22. (a) Cr⁺ (b) Fe⁺ (c) Al⁺ implantasyonunun fonksiyonu olarak ¹³⁷Cs gama ışınlarına maruz kalan implant edilmiş topaz örneklerin TL eğrileri

Şekil 5.22.(a)'da görüldüğü gibi Cr^+ implant edilmiş örneklerde 240°C 'deki TL pikinin yoğunluğu başlangıç olarak 10^{14} ve 10^{15} iyon/ cm^2 arasında artarken , daha yüksek miktarda iyon dozları için azalmaktadır. En yüksek artış 10^{15} iyon/ cm^2 'de olup başlangıç TL pik yoğunluğunun 57%'si civarındadır. 120 ve 280°C 'deki TL pikleri 240°C 'deki pik ile aynı davranışı gösterirler. Fakat 240°C 'deki TL yoğunlukları implantasyona uğramış örneklerde her zaman uğramamış olanlardan yüksek olurken , 120 ve 280°C için 10^{17} iyon / cm^2 implant edilmiş örneklerin TL yoğunluğu , implantasyon yapılmamış örneğinkinden daha düşük olmaktadır.

Şekil 5.22.(b)'de görüldüğü gibi, implantasyona uğramamış örneğin TL yoğunluğu bütün doz miktarlarında Fe^+ implant edilen örneklerden daha yüksek olmaktadır.

Şekil 5.22.(c)'de görüldüğü gibi , Al^+ implant edilen ve gama radyasyonuna tabi tutulan örnekler için TL yoğunluğu, 120°C 'de farklı dozlarda implantasyon için kaydadeğer bir değişim göstermez. 280°C 'deki TL piki de benzer özellik gösterirken, 10^{14} iyon/ cm^2 implant edilmiş örneğin TL piki ,bu sıcaklık için implantasyona uğramamış örnekten düşük kalmaktadır. 240°C 'deki TL yoğunluğu , 10^{14} iyon/ cm^2 için biraz düşer, 10^{15} iyon/ cm^2 için biraz yükselir, 10^{16} iyon/ cm^2 için çok düşerken 10^{17} iyon/ cm^2 için artarak en yüksek değerine ulaşır.

5.7. β Işınlarının Topaz Kristaline Etkisi¹



Şekil.5.23. (a) Cr⁺ (b) Fe⁺ (c) Al⁺ implantasyon miktarının bir fonksiyonu olarak implantasyon ardından β ışınları radyasyonuna uğrayan ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ kaynağından) topaz örneklerin TL eğrileri

Şekil 5.23. (a)'da görüldüğü gibi, implantasyona uğramış örnekler β radyasyonuna maruz kalınca davranışları biraz değişir. Bütün Cr implant edilmiş örnekler için emisyon, implant edilmemiş örneklere göre belirgin şekilde artar. En yüksek artış (160%'dan fazla) 10^{16} Cr⁺/cm² implant edilmiş örnekler için 240°C TL

pikinde olur. 120 ve 280°C'deki TL pikleri de artar. En yüksek artış sırasıyla 10^{16} Cr^+/cm^2 ve 10^{14} Cr^+/cm^2 için meydana gelir.

Şekil 5.23.(b)'de görüldüğü gibi Fe implant edilen ve ardından β radyasyonuna uğrayan örneklerin TL eğrisi, gama radyasyonunda olduğu gibi, implantasyona uğramamış örneğinkinden daha düşüktür. 240 ve 280°C'deki pikler implantasyondan sonra düşerler. 120°C için ise 10^{14} iyon/ cm^2 için önce düşer ve daha sonra iyon dozu arttıkça az miktarda yükseliş gösterir.

β radyasyonuna uğramış Al implant edilmiş örneklerin tümü için , şekil 5.23.(c)'de görüldüğü gibi en yüksek TL 10^{14} iyon/ cm^2 için elde edilir. (120 ve 240°C TL piklerinde yaklaşık 30% artış) 280°C için tüm implantasyona uğrayan örneklerde TL değişmez.

5.8. Metal İyonları İmplantasyonuyla Kuartz Kristalinin Renklendirilmesi¹

20 keV enerjili Fe^+ iyonları ($9,4 \times 10^{16}$ iyon/ cm^2) kuartz kristaline implant edildiler. Yüzeyi Fe iyonlarından koruyarak rengi küçük bir bölgede sınırlamak için, yıldız şeklindeki bir bölge açık bırakılacak şekilde bakır bir film kristal üzerine yerleştirildi. İyon etkileşmesinin ardından bakır filmin ayrılması için materyal 24 saat hidroklorik asitte bekletildi. Kuartz, iyon dozunun miktarıyla zenginleşen gri renk tonu gösterdi. Kristal elektrik fırınında 3 saat bekletildiğinde renk derece derece değişti.

Tablo 5.2. 20keV enerjili Fe^+ iyonları ($9,4 \times 10^{16}$ iyon/ cm^2) implantasyonuna uğramış ve ardından 3 saat 200°C, 400°C ve 1000°C'de tavllanmış kuartz kristalinde renk değişimi

örnek	İmplantasyona uğradıktan sonra	200°C'de tavlama	400°C'de tavlama	1000°C'de tavlama
renksiz	Gri tonlarında	gri	Açık sarımsı kahverengi	Koyu sarımsı kahverengi

Renklendirme için Fe^+ iyonları yerine başka metal iyonları kullanılması ihtimali gözden geçirildi. Cu^+ (3×10^{17} iyon/ cm^2) ile etkileşen kuartzın rengi parlak kırmızı idi. Renk, ısıtma sırasında derece derece azalarak 3 saat 400°C 'nin üzerinde ısıtmayla kayboldu. Nb^+ (5×10^{17} iyon/ cm^2) ile etkileşen materyal parlak gri renkte görülürken 1000°C 'de 3 saat ısıtıldığında iyon implantasyonuna maruz kalan bölge açık mavi tonlarında gözlemlendi.

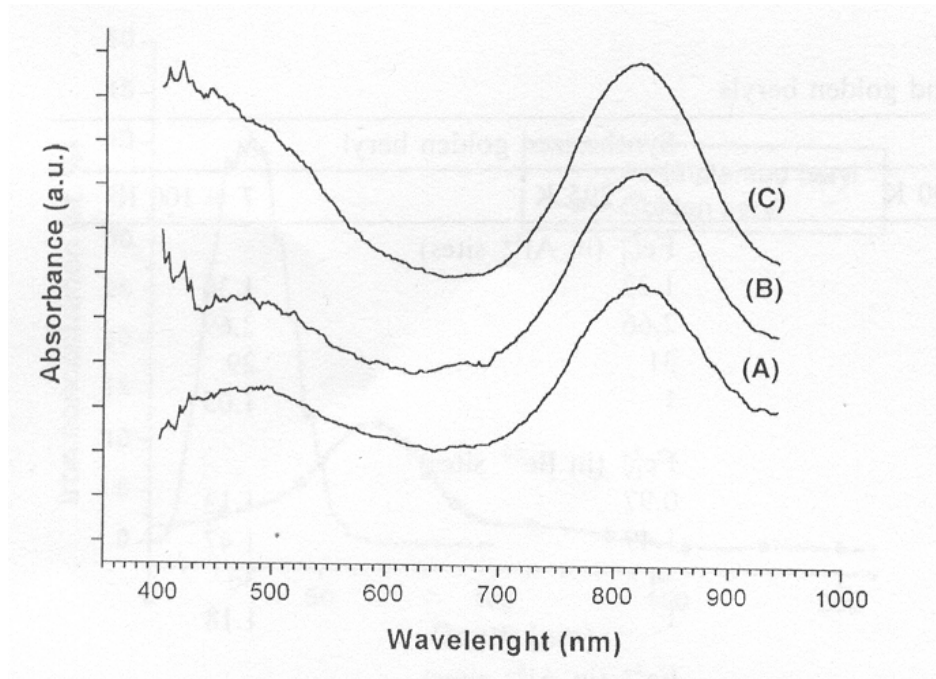
Ayrıca pürüzsüz kuartzın metal iyon implantasyonuna uğradığında parlak renkler aldığı bulunmuştur. Parlak kuartzın renkleri:

Nb^+ (5×10^{17} iyon/ cm^2) 3 saat 1000°C ısıtıldığında → parlak mavi

Fe^+ (2×10^{17} iyon/ cm^2) 3 saat 1000°C ısıtıldığında → mavi

Cu^+ (3×10^{17} iyon/ cm^2) parlak kırmızı iken 3 saat 1000°C ısıtıldığında → renksiz

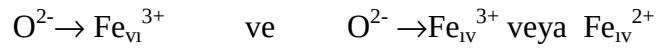
5.9. Doğal Berilin İyon İmplantasyonu ile Renklendirilmesi¹



Şekil 5.24. (A) Renksiz doğal berilin (B) sarımsı berilin ($0,5 \times 10^{17}$ iyon/ cm^2 Fe implantasyonu ardından 600°C 'de 30 dakika tavlansak renklendirilen) (C) altın berilin ($1,5 \times 10^{17}$ iyon/ cm^2 Fe implantasyonu ardından 600°C 'de 30 dakika tavlansak renklendirilen) optik absorpsiyon spektralleri

Şekil 5.24.'de görüldüğü gibi, bütün örnekler için spektranın infrared bölgesi yakınında 820nm'de pik gösteren geniş bir absorbsiyon bantı mevcuttur. Bant, berilin oktahedral aliminyum sitelerinde yerleşmiş $\text{Fe}_{\text{VI}}^{2+}$ iyonlarının iç elektron geçişleriyle açıklanır. İnfrared bölgedeki bu absorbsiyon Fe içeren berillerde renklenmeye sebep olmaz

Spektrumun görünür bölgesindeki absorbsiyon farklı doğal minerallerin renklerini tanımlar. Görünür bölgedeki absorbsiyon renklendirilmiş berillerde doğal berile nazaran daha güçlüdür. Bu durum özellikle optik spektranın violet-mavi bölgesinde (400-500nm) açıkça görülüyor. Renklendirilmiş berilerde kısa dalgaboyu absorbsiyon yoğunluğu, implant edilen Fe iyonları miktarı arttıkça yükselir ve bu, renginin sarımtıraktan yeşil-turuncu tonlara değişmesine sebep olur. Doğal heliodorların (yeşilimsi sarı beril), sarı rengi optik absorbsiyon spektrasının mavi bölgesindeki yoğun absorbsiyona bağlıdır. Bu absorbsiyonun sebebi yük transferleridir.



Dolayısıyla sarımtırak ve altın berillerin optik spektrası implant edilen Fe iyonlarının bir kısmının kristalin oktahedral ve tetrahedral pozisyonlarında yerleştiğini işaret eder.

6. SONUÇLAR VE YORUM

Tez boyunca farklı değerli taşlara uygulanan farklı metotlar ve sonuçları incelenmiştir.

6.1. Safir

6.1.1. İyon İmplantasyonu ve Sonuçları

a) (5×10^{16} iyon/cm²) 20 keV enerjili Co iyonları implant edilen safir 3 saat farklı sıcaklıklarda tavlanaarak tavlama sıcaklığının renge etkisi araştırılmıştır. Renk, 800°C de gri iken 1000°C de parlak mavi olmuş ve daha yüksek sıcaklıklar için değişmediği gözlenmiştir.

b) (1×10^{17} iyon/cm²) Co iyonları implant edilen safirin 800°C de farklı tavlama süreleri için renk değişimi araştırılmıştır. Isıtılma süresi arttırıldıkça rengin yeşile doğru kaydığı saptanmıştır.

c) Co iyonları implant edilen safir 1000°C de 3 saat tavlandı. Co iyonlarının farklı dozları için renk araştırıldı. Absorbsiyon çukuru 610 nm civarında iyon dozunun artışıyla artarak merkezlenmiş ve dolayısı ile mavi renk zenginleşmiştir.

d) Farklı püskürtme zamanları için Co 2p_{3/2} nin (saf hali için; örneğe implantasyonu ardından; örneğin 800°C de ve 1000 °C tavlamaı ardından) XPS spektraları incelenmiştir. İmplantasyon ardından XPS saf metalinki ile çıkışmasına rağmen örneğin tavlamaı ardından zamanla belirginleşen 2 tepe gösterir.

Co iyonları implant edilerek safirin renklendirmesi için, Co iyonlarının dozunu arttırmak mavi renk tonunu zenginleştirecektir. Bu renklendirme için uygun tavlama sıcaklığı 1000°C'dir. (3 saat)

Safirin Co iyonu implantasyonu ardından tavlama sonrasında sonra alınan XPS spektrasındaki iki tepe, safir içerisinde farklı bağlanma enerjilerine sahip (farklı valans durumlarında olan) iki farklı Co iyonu olduğunu gösterir.

6.1.2. Gama Radyasyonunun Etkileri

- (1. örnek) Na^+ implant edilmiş Al_2O_3
- (2. örnek) sadece ^{137}Cs gama radyasyonuna uğrayan Al_2O_3
- (3. örnek) Na^+ implantasyonu ardından gama radyasyonuna uğrayan Al_2O_3

- a) TL yoğunlukları incelendiğinde 3. örneğin TL yoğunluğunun 2. örneğinkinden ve onun da 1. örneğinkinden yüksek olduğu gözlenmiştir.

Yorum: TL yoğunluğu kusurların uyarılmasıyla oluşan trap taşıyıcılarının yoğunluğuna bağlıdır. 1. örnekte iyon implantasyonu ile yeni kusurlar oluşmasına rağmen uyarılma sadece iyon implantasyonu ile meydana gelir. 2. örnekte var olan trapler gama radyasyonu ile uyarılır. Bu 1. örneğe göre daha yüksek bir TL yoğunluğuna sebep olur. 3. örnekte ise hem kusur konsantrasyonu artmakta hem de uyarılma implantasyon ve gama radyasyonu ile yapılmaktadır. Bu da en yüksek TL yoğunluğuna sebep olur.

- b) Farklı dozlarda implantasyonun TL'ye etkisi araştırılmış ve iyon dozu artışıyla TL yoğunluğunun arttığı gözlemlenmiştir.

Yorum : Bu durumun sebebi iyon dozu artışının boşluk konsantrasyonunu arttırmasına bağlanabilir.

- c) Farklı enerjiye sahip iyonların implantasyonunun TL'ye etkisi araştırılmıştır. İyon enerjisi arttıkça TL eğrilerindeki omuzlar küçülerek eğrideki ana tepeye katılmıştır.
- d) Farklı iyonların implantasyonunun TL'ye etkisi araştırılmıştır. İyon kütlesi arttıkça TL yoğunluğu düştü.

Yorum : Bu durum, iyon kütlesi arttıkça iyon menziline düşmesine ve TL yoğunluğunun iyon menziline değişimi ile yakından ilgili olduğuna bağlanabilir.

6.1.3. Elektron Radyasyonunun Etkisi

Elektron radyasyonundan önce ve sonra V : Al₂O₃ kristalinin absorpsiyon spektrası incelendi. Radyasyondan sonra absorpsiyon piklerinin yerleri değişmezken, yoğunlukları arttı. 200 -360 nm geniş ultraviyole absorpsiyon bandı gözlemlendi.

Yorum : Absorpsiyon yoğunluğunun artmasının sebebi, elektron radyasyonundan sonra V⁴⁺ iyonlarının elektron yakalayarak V³⁺ iyonlarına dönüşmesi ve V³⁺ iyon konsantrasyonunu arttırmasıdır. 200 – 360 nm geniş ultraviyole absorpsiyon bandının sebebi ise yük transferidir.

6.2.Topaz

6.2.1.Fe ve Co İyonları İmplant Edilen Topazın İncelenmesi

- a) İmplantasyon ardından 700°C de tavlama florin kaybına, oluşan yeni kusurlar ve demirin hacim içine ve yüzeye dağılması eşlik eder. İmplantasyon sırasında zayıf Al – F bağları kopar ve bu sıcaklıkta serbest olan F, F₂ oluşturarak materyali terk edebilir.

800°C de iç kusurların ısıtılmasıyla ve matrisin yeniden kazanılmasıyla yüzeye doğru hareket başlar ve 900°C de maksimum kusur geri kazanımı olur. Yüzey demir konsantrasyonu %7 dir.

Yorum : Yüzey eski kristalliğini F kaybına bağlı olarak yeniden kazanamaz. Bu durum, implantasyona uğramış bölgede yeni bir kristal yapı oluşumuna izin verebilir.

- b) Co iyonu implantasyonu kristalde benzer sonuçlara sebep olur.

6.2.2. Fe ve Co İyonları İmplantasyonuna Uğrayan Ve Ardından Tavlanan Topazın Optik Spektrası

- a) Fe implantasyonu ardından elde edilen kahverengi renk ve absorbsiyon 600°C de kaybolur ve dolayısı ile kristal renksiz olur. 700°C de üç tane absorbsiyon bandı oluşmaya başlar. Bandları 900°C de maksimum genliğe ulaşırlar ve kristal sarı altın renginde görünür.
- b) Co implantasyonu ardından kristal ısıtıldığında kahverengimsi renginde çok az değişiklik olur. Örnekler yüksek sıcaklığa ısıtıldığında 450 ve 740 nm de merkezlenen iki absorbsiyon bandı oluşur. 700°C den 900°C ye ısıtmayla bu bantların absorbsiyon yoğunluğunda düşme gözlenir.

Yorum: Renklendirme yüzey oksitlerin oluşmasına işaret eder.

6.2.3. β Işıklarının Topaz Kristaline Etkisi

- a) Cr implant edilmiş örnekler β radyasyonuna maruz kalınca davranışları biraz değişir. Bütün örnekler için emisyon implant edilmemiş örneklerle göre belirgin şekilde artar.
- b) Fe implant edilen ve ardından β radyasyonuna uğrayan örneklerin TL eğrisi, implantasyona uğramamış örneğinkinden daha düşüktür.

6.3. Kuartz

6.3.1. İyon İmplantasyonu ile Kuartz Kristalinin Renklendirilmesi

- a) 20 keV enerjili Fe^{4+} iyonları ($9,14 \times 10^{16}$ iyon/ cm^2) implantasyonuna uğramış kuartz gri renkte görünürken, 200°C de tavlama ile yine gri, 400°C tavlama ile açık sarımsı kahverengi, 1000°C tavlama ile koyu sarımsı kahverengi renk gösterdi.

b) Farklı iyon implantasyonlarının sonuçları:

1. Nb^+ (5×10^{17} iyon/ cm^2) üç saat 1000°C de tavlama ile parlak mavi
2. Fe^+ (2×10^{17} iyon/ cm^2) üç saat 1000°C de tavlama ile mavi
3. Cu^+ (3×10^{17} iyon/ cm^2) parlak kırmızı iken 3 saat 1000°C de tavlama ile renksiz.

Yorum: İmplantasyon yöntemi ile kolaylıkla renk veren iyonları katkılayarak kuartz kristalinde çok verimli renkler elde edilebilmektedir.

6.4. Beril

6.4.1. Doğal Berilin İyon İmplantasyonu ile Renklendirilmesi

Renksiz doğal beril, sarımsı beril ve altın berilin optik absorpsiyon spektralleri incelenmiştir. Tüm örnekler için spektranın infrared bölgesi yakınında 820 nm de tepe gösteren geniş bir absorpsiyon bantı mevcuttur. Bant, berilin oktahedral alüminyum sitelerinde yerleşmiş $\text{Fe}_{\text{VI}}^{2+}$ iyonlarının iç elektron geçişleriyle açıklanır. Infrared bölgedeki bu absorpsiyon Fe içeren berillerde renklenmeye sebep olmaz.

Renklendirilmiş berillerde kısa dalga boyu absorpsiyon yoğunluğu, implant edilen Fe iyonları miktarı arttıkça yükselir ve bu, renginin sarımsıya yeşil-turuncu tonlara değişmesine sebep olur. Yeşilimsi sarı berilin sarı rengi optik absorpsiyon spektrasının mavi bölgesindeki yoğun absorpsiyona bağlıdır. Bu absorpsiyonun sebebi yük transferleridir.

Yorum: Karışık kristal yapısına sahip olan berillerde iyon implantasyon yöntemi ile çeşitli renk merkezleri oluşturulabilir ve uygun parametreler kullanıldığı takdirde zengin renkler elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- 1) Yukinori Saito, Hajime Horie and Shinji Suganomata, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B59/60 (1991) 1173-1176
- 2) Taekyu Kim, Hongkyu Jang, Chungnam Whang, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 155 (1999) 295-300
- 3) N. Kristianpoller, A. Rehavi, A. Shmlevich, D. Weiss, R. Chen, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 141 (1998) 343-346
- 4) Jin Zhang, Lin Li-Bin, Lin Li-Bin, Lin Li-Zhong, Jing Shi-ji, Wang Guang-Can, Lu Yong, Jing Shou-Yong, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 141 (1998) 446-449
- 5) C. Marques, A. Falcao, R.C. da Silva, E. Alves, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 191 (2002) 312-316
- 6) Eduardo G. Yukihara, Emico Okuno, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 141 (1998) 514-517
- 7) D.N. Souza, J.F. Lima , M.E.G. Valerio, E. Alves, L.V.E. Caldas, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 191 (2002) 196-201
- 8) Yukinori Saito, Hideo Kumagai and Shinji Suganomata, JPN. J. PHYS. VOL. 24 (1985) No.8
- 9) R.I. Khaibullin, O.N. Lopatin, F.G. Vagizov, V.V. Bazarov, A.I. Bakhtin, I.B. Khaibullin, B. Aktaş, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 206 (2003) 277-281
- 10) John R. Taylor, Chris Zafaritos, Modern Fizik, Arte Bilgi-Tek, 1996, s.89-90, 101-102
- 11) www.crlc.ca/crlcart6.htm, Experiencing Fluorescence, mayıs 2004
- 12) www.swdgems.com/heat_Treatment.html, thermal Enhencement in rubies, Saphires, nisan 2004
- 13) www.geology.wise.edu/jill/Lect7.html, color in minerals, şubat 2001
- 14) www.mineral_galleries.com/minerals/sillicate/quartz/quartz.html, nisan 2004
- 15) www.mineral_galleries.com/minerals/sillicate/topaz/topaz.html, nisan 2004
- 16) www.mineral_galleries.com/minerals/sillicate/beryl/beryl.html, nisan 2004
- 17) www.minerals.net/gemstone/gemstone/sapphire/sapphire.html, mayıs 2004
- 18) sevkan 2001, sitemynet.com/taşlar/taşlar.html, mayıs 2004

- 19) www.minerals.net/mineral/oxides/corundum/corundum.html, mayıs 2004
- 20) www.swdgems.com/what%20is%20ruby%20and%20sapphire.html, nisan 2004
- 21) www.ioffe.rssi.ru/SCPLAB/index.htm
- 22) www.mii.org/Minerals/photoberyl.html
- 23) www.mii.org/Minerals/photoqtz.html

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılına Sakarya’da doğdu. İlk öğrenimini Sapanca’da tamamladı. Bolu Anadolu Öğretmen Lisesi’ ni bitirdi. 1999 yılında Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği bölümünden mezun oldu. 1999 yılından itibaren sınıf öğretmeni olarak çalışmaktadır.