

**DC REAKTİF MAGNETRON İÇİN ANAHTARLAMALI  
GÜÇ KAYNAĞI TASARIMI VE ZnO YAPILARIN ÜRETİMİ**

**Gökhan KEVEN**

**Yüksek Lisans Tezi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Prof. Dr. Hasan EFEOĞLU  
2009  
Her hakkı saklıdır**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DC REAKTİF MAGNETRON İÇİN ANAHTARLAMALI GÜÇ  
KAYNAĞI TASARIMI VE ZnO YAPILARIN ÜRETİMİ**


**Gökhan KEVEN**


**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**


**ERZURUM**  
**2009**

**Her hakkı saklıdır**

Prof. Dr. Hasan EFEOĞLU danışmanlığında, Gökhan KEVEN tarafından hazırlanan bu çalışma 17.11.2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Bulent Akocak İmza : 

Üye : Prof. Dr. Hüseyin Efeoğlu İmza : 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Köksal İren İmza : 

Üye : ..... İmza :

Üye : ..... İmza :

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

Prof. Dr. Ömer AKBULUT  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Y. Lisans Tezi

### DC REAKTİF MAGNETRON İÇİN ANAHTARLAMALI GÜÇ KAYNAĞI TASARIMI VE ZnO YAPILARIN ÜRETİMİ

Gökhan KEVEN

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan EFEOĞLU

Bu çalışmada elektronik malzeme üretiminde kullanılan DC reaktif magnetron sıçratma (DCRMS) sistemine enerji sağlayacak anahtarlama mod güç kaynağı tasarımı ve üretimi gerçekleştirildi. Bu tasarımda, DC-DC çevirici için anahtarlama mod tekniği kullanıldı. Üretilen güç kaynağında SMPS (Switch Mod Power Supply - Anahtarlama Mod Güç Kaynağı) teknolojisinden dolayı maksimum güç, minimum güç kaybı ile sağlanmaktadır. DC magnetron sistemi için akım-gerilim koruması ve yalıtım sağlanmıştır. Tasarım ve üretimi gerçekleştirilen güç kaynağı, magnetron sisteminde kullanılarak ZnO ince film üretimi ile test edildi. Üretilen ZnO ince filmlerin optik karakterizasyonu fotoluminesans (PL) tekniği kullanılarak yapıldı.

**2009, 54 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** ZnO, DC/DC güç kaynağı, fotoluminesans, magnetron

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **SWITCHING POWER SUPPLY DESIGN FOR DC REACTIVE MAGNETRON AND PRODUCTION OF ZnO STRUCTURES**

Gökhan KEVEN

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Electricity-Electronic Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hasan EFEOĞLU

In this work switch mode power supply designed and constructed which will be used for DC Reactive Magnetron Sputter (DCRMS) as a power supply. DCRMS has application in productions of electronic materials. In this design switch mode method used for DC-DC conversion. The constructed power supply provided maximum power with minimum power loss owing to SMPS (Switch Mode Power Supply) technology. Designed DC magnetron system is provided current-voltage protection and isolation. The power supply which is performed design and produced was tested during the production of ZnO thin film production within a magnetron system. Deposited ZnO thin films optical characterized and the formation of ZnO crystal formation proved by photoluminescence (PL).

**2009, 54 pages**

**Keywords:** ZnO, DC/DC power supply, photoluminescence, magnetron

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında ve tezin konusu olan güç kaynağının tasarımı ve üretiminde hiçbir yardımcı esirgemeyen ve verdiği bilgilerle yol gösteren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hasan EFEOĞLU'na, Yapılan güç kaynağı ve kullanılan PL sistemi için 105T104 numaralı proje ile destek veren TÜBİTAK'a 2004/118 numaralı proje ile Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimine, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm elemanlarına gösterdiği kolaylık ve destek için Mühendislik Fakültesi Dekanlığı'na teşekkürlerimi sunarım.

Gökhan KEVEN

Mart 2009

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2. Sıçratma Tekniği .....	2
1.2.1. Giriş.....	2
1.2.2 Magnetron sıçratma.....	5
1.2.3. Magnetron sıçratma türleri.....	7
1.2.4. Konvansiyonel dengeli magnetron sıçratma.....	8
1.2.5. Dengesiz magnetron sıçratma.....	8
1.2.6. Kapalı alan dengesiz magnetron sıçratma.....	9
1.2.7. Reaktif magnetron sıçratma.....	9
<b>2. KURAMSAL TEMELLER</b> .....	10
2.1. DC Reaktif Magnetron Sıçratma .....	10
2.1.1. DC reaktif magnetron sıçratma işleminin temel özellikleri.....	10
2.1.2. DC reaktif magnetron sıçratma işleminin yapılışı.....	10
2.1.3. Plazma bölgesi.....	13
2.2. Mevcut Sistemin Özellikleri ve Eksikleri.....	16
2.3. DC Güç Kaynağı Tasarımı.....	18
2.4. ZnO Üretiminde Sıçratma Tekniği.....	18
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	19
3.1. SMPS Yöntemi ile Güç Kaynağı Tasarımı.....	19
3.2. Güç Kaynağı Tasarımı.....	21
3.2.1. Kontrol devresi tasarımı.....	21

3.2.2. Kontrol modülü için besleme tasarımı.....	27
3.2.3. Anlık gerilim yükseltme devresi tasarımı.....	28
3.2.4. Giriş devresi tasarımı.....	29
3.3. Güç Kaynağının Yapımı.....	30
3.3.1. Baskı devrelerin çıkartılması.....	30
3.4. Güç Kaynağı ve Montajı.....	32
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>34</b>
4.1. ZnO'in Elektronikteki Yeri.....	34
4.2. DC Reaktif Magnetron Sıçratma ile ZnO Üretimi.....	37
4.3. Üretilen ZnO İnce Filmin Optik Karakterizasyonu.....	41
4.3.1. PL ölçümleri ve değerlendirmeler.....	42
4.3.2. Argon gazında tavllanmış numunelerde PL ölçümleri.....	45
4.3.3. Oksijen gazında tavllanmış numunelerin PL ölçümleri.....	47
<b>5. SONUÇ.....</b>	<b>48</b>
KAYNAKLAR .....	49
EKLER.....	51
EK 1.....	51
EK 2.....	52
EK 3.....	53
EK 4.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	55



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Amper
$A_C$	Nüve alanı
$\Delta B$	Nüve manyetik alanı
ccpm	Dakikadaki gaz akış miktarı
eV	Elektron Volt
$\lambda_1$	Transformatör çalışma frekansı
Mhz	Mega hertz
ms	Mili saniye
$E_g$	Yasak enerji aralığı
Pa	Basınç
V	Volt

### Kısaltmalar

CVD	Kimyasal buhar biriktirme-Chemical Vapor Deposition
DC	Doğru Akım
DVM	Dijital Volt Metre
MBE	Moleculer Beam Epitaxy
MOCVD	Metal Organic Chemical Vapour Deposition
PL	Fotolumünesans
PVD	Physical Vapor Deposition
RF	Radyo frekans
SMPS	Anahtarlamalı Güç Kaynağı- Switch Mod Power Supply
TCO	Transparent Conductive Oxides
UV	Ultraviöle
VCO	Gerilim Kontrollü Osilatör-Voltage Controlle Osilator

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Örnek sıçratma sistemi.....	3
Şekil 1.2. Dairesel geometride manyetik alan.....	6
Şekil 1.3. Manyetik alanda sıçratma düzeneği.....	7
Şekil 1.4. Manyetik alanların yerleştirilişine göre magnetron sıçratma türleri .....	7
Şekil 2.1. DC reaktif manyetik sıçratma sistemi.....	11
Şekil 2.2. DC reaktif manyetik sıçratma sisteminde argon ve oksijen gazı verilmiş düşük basınç altındaki durumu.....	12
Şekil 2.3. DC reaktif manyetik Sıçratma sisteminde ince filmin birikmesi.....	13
Şekil 2.4. Plazma bölgesindeki elektrik ve manyetik alan durumu.....	14
Şekil 2.5. Yüze atomun çarpması durumunda yüzeyden sıçrayan atomlar.....	15
Şekil 2.6. Plazma bölgesi ve hedef metalin sıçratma işleminden sonraki erozyonu.....	15
Şekil 2.7. DC reaktif manyetik sıçratma sistemi kontrol ünitesi.....	16
Şekil 2.8. DC reaktif manyetik sıçratma sistemi genel görünüşü.....	17
Şekil 2.9. Hedef metalin ve altlığın yerleştirildiği bölümler.....	17
Şekil 2.10. Hedef metalin konulduğu bölüm.....	18
Şekil 3.1. Anahtarlamalı mod güç kaynağı.....	19
Şekil 3.2. Anahtarlamalı olmayan bir güç kaynağının modellemesi.....	20
Şekil 3.3. Anahtarlamalı çalışan bir güç kaynağı modellemesi ve çalışma sinyali.....	21
Şekil 3.4. Kontrol devresi açık şeması.....	24
Şekil 3.5. Kontrol devresi besleme devresinin açık şeması.....	27
Şekil 3.6. Anlık gerilim yükseltme devresi açık şeması.....	28
Şekil 3.7. Anlık gerilim yükseltme devresindeki Q3 güç mosfetini tetikleyen sinyal.....	29
Şekil 3.8. Giriş devresi açık şeması.....	31
Şekil 3.9. Güç kaynağının çeşitli görünüşleri.....	33
Şekil 3.10. Güç kaynağı elemanların yerleşimi.....	33

<b>Şekil 4.1.</b> ZnO'in wurtzite birim hücresi.....	35
<b>Şekil 4.2.</b> Wurtzite kristal yapıdaki ZnO'te atomlar arası bağları .....	35
<b>Şekil 4.3.</b> Yarıiletkende direk bant geçişi.....	37
<b>Şekil 4.4.</b> Sistem vakum ölçüm panosu.....	38
<b>Şekil 4.5.</b> Oksijen akışölçer için sisteme ilave edilen gaz akış ve set göstergeleri.	39
<b>Şekil 4.6.</b> Plazma oluşumu.....	40
<b>Şekil 4.7.</b> Plazmanın yakın görüntüsü.....	40
<b>Şekil 4.8.</b> Cam, Si, SiO <sub>2</sub> altlık üzerine büyütülmüş ZnO ince film.....	41
<b>Şekil 4.9.</b> Fotoluminesans ölçüm düzeneği.....	41
<b>Şekil 4.10.</b> ZnO'e ait bir ölçüm sonucu.....	42
<b>Şekil 4.11.</b> PL sistemi blok diyagramı.....	43
<b>Şekil 4.12.</b> ZnO/Si ince film fotoluminesans ölçümleri (300 K).....	44
<b>Şekil 4.13.</b> ZnO/SiO <sub>2</sub> ince film fotoluminesans ölçümleri (300 K).....	44
<b>Şekil 4.14.</b> ZnO/Si, Ar gazı ortamında 30 dakika 550°C'de tavllanmış ince film fotoluminesans ölçümleri (300 K).....	45
<b>Şekil 4.15.</b> ZnO/SiO <sub>2</sub> , Ar gazı ortamında 30 dakika 550°C'de tavllanmış ince film fotoluminesans ölçümleri (300 K).....	46
<b>Şekil 4.16.</b> ZnO/Si, O <sub>2</sub> gazı ortamında 60 dakika 550°C'de tavllanmış ince film fotoluminesans ölçümleri (300 K).....	47
<b>Şekil 4.17.</b> ZnO/Si O <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> gazı ortamında 60 dakika 550°C'de tavllanmış ince film fotoluminesans ölçümleri (300 K).....	47

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 1.1.</b> Argon gazı içerisinde atom/iyon için bazı atomlara ait sıçratma kazancı.....	5
<b>Çizelge 4.1</b> Wurtzite ZnO in bazı özellikleri.....	36
<b>Çizelge 4.2.</b> Büyütülen ZnO ince filme ait üretim parametrelerinin değerleri.....	39

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yarıiletken devre elemanı tasarım teknikleri ve günümüze kadar elektronikte yaşanan gelişmelerle birlikte daha küçük boyutlu ve daha az enerji tüketen devre elemanları üretilmektedir. Mikron ve nano ve boyutta üretilen bu elemanların üretiminde ince film büyütme teknikleri kullanılmaktadır. MBE (Molecular Beam Epitaxy) ve MOCVD (Metal Organic Chemical Vapour Deposition) tekniklerine tamamlayıcı olarak ince film üretiminde PVD (Physical Vapor Deposition – Fiziksel Buhar Yığılma) ve CVD (Chemical Vapor Deposition-Kimyasal Buhar Yığılma) teknikleri en çok kullanılmaktadır.

İnce film üretme teknikleri şunlardır.

- Fiziksel Buhar Yığılma Yöntemi (PVD- Physical Vapour Deposition Process)
- Yüksek Vakumda Yığılma Yöntemi (High Vacuum Deposition Process)
- Sıçratma Yöntemi (Sputtering Process)
- İyon Demetiyle Yığılma Yöntemi (Ion Beam Assisted Deposition)
- İyon Grup Demeti Yığılma Yöntemi (Ion Cluster Beam Deposition)
- Kimyasal Buhar Yığılma Yöntemi (Chemical Vapor Deposition)
- Plazma Destekli Kimyasal Buhar Yığılma Yöntemi (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)
- Alçak Basınç Kimyasal Buhar Yığılma Yöntemi (Low Pressure Chemical Vapor Deposition)
- Lazer Destekli Kimyasal Buhar Yığılma Yöntemi (Laser Enhanced Chemical Vapor Deposition Process) (Taşan 2005)

PVD tekniğinde, oluşturulacak ince filmin çeşidine göre, malzeme termal ısıtma, yüksek enerjili elektron veya iyon bombardımanı ile hedef malzemeden atomların sökülerek bir altlık üzerinde biriktirilmesi işlemidir. Bu süreç, düşük basınç altında

gerçekleştirdiğinden kullanılacak malzemeler düşük basınç altında özelliğini kaybetmeyecek malzemelerden olması gerekmektedir. Bu yöntemde hedef malzeme atomlar halinde sökülerek bir altlık üzerinde biriktirilir.

PVD tekniklerinden biri olan ve bu tez çalışmasında kullanılan yöntem sıçratma yöntemidir. Sıçratma yöntemi vakumda oluşturulan plazma ile yüksek enerjili iyonları hedef yüzeye çarptırarak buradan kopartılan atomların altlık üzerinde biriktirilmesi işlemidir. Sıçratma anlamına gelen “Sputtering” kelimesi Latince kökenli *SPUTARE* (Emiting saliva with noise - Gürültülü bir şekilde tükürük yaymak) kelimesinden gelmektedir. Sıçratma yöntemi ilk kez Grove (1852) ve Plucker (1858) tarafından “Metal filmlerin, film oluşumu ve buharlaştırma” isimli bildirisinde tanımlanmıştır (www.gencoa.com 05.01.2009).

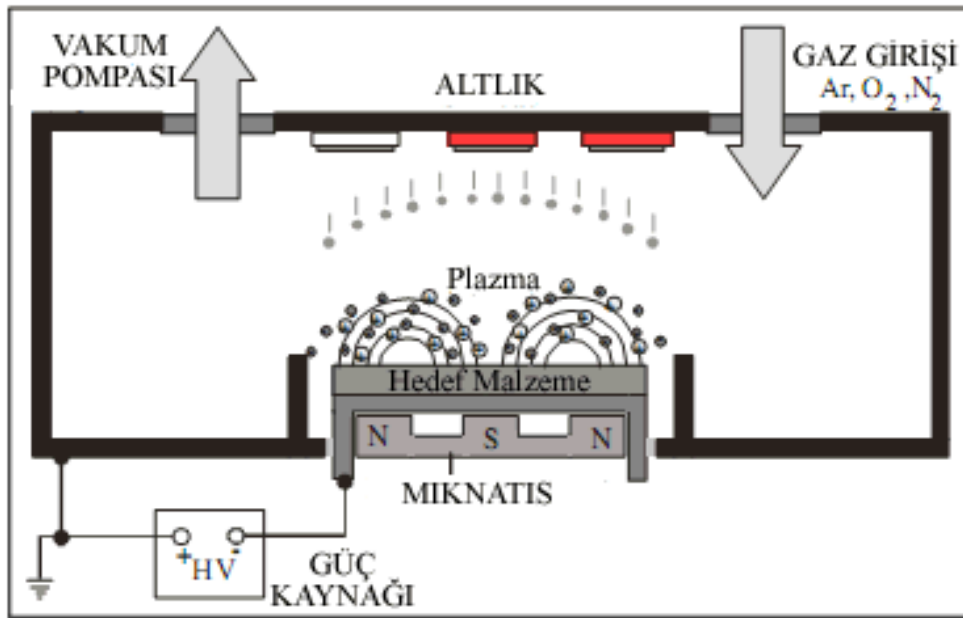
## **1.2. Sıçratma Tekniği**

### **1.2. 1. Giriş**

Sıçratma tekniğinin literatürde ilk kez tanımlanmasından sonra Langmuir (1920) tarafından ince film üretme tekniği olarak geliştirilmiştir. İsminden de anlaşılacağı gibi sıçratma tekniği kimyasal değil, fiziksel bir tekniktir. Sıçratma işleminde, yüksek enerjili iyonların yüksek saflıktaki (~%99,999) katı bir hedefe çarpması ve atomların fiziksel olarak yerinden çıkarılması işlemidir. Sıçratılan hedef atomları vakum ortamından geçer ve bir altlık üzerinde birikir (Quirk and Serda 2001).

Vakum ortamında katı haldeki kaplama metali (hedef malzeme) yüzeyinin yüksek enerjili iyonlarla bombardıman edilerek malzemenin buharlaştırıldığı sıçratma yöntemi, ince film kaplamaların oluşturulmasında kullanılan önemli süreçlerden biridir. Sıçratma yönteminde işlem fiziksel sökme yoluyla yapıldığı için bu yöntem, buharlaşma için yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyan ancak yüksek sıcaklık olmadan işlem yapılması gereken durumlarda kullanılır. Bu sıçratma yöntemi kısmi vakum ( $10^3$ - $10^{-2}$  Torr) altında gerçekleştiğinden, uygun ortamın sağlandığı kapalı sistem içerisinde gerçekleştirilir.

Örnek bir sistemin genel görünümü Şekil 1.1'dedir. Sıçratma işlemi, uygulama aşamasında kullanılan parametrelerin değiştirilmesine açık olduğundan çok esnek bir tekniktir. Sıçratma işlemi, kullanılan cihazların gerilim, akım, basınç, birikme zamanı gibi parametrelerin değiştirilmesine dayalı hassas ayarlamalara açık bir tekniktir. Kaliteli ince film üretimi için sıçratma işlemindeki bu parametrelerin hepsinin tanımlanması gerekmektedir. Diğer bir ifade ile sıçratma işleminde seçilen parametrelerin üretilen ince film üzerindeki etkilerinin nasıl olduğunun bilinmesi gerektiği anlamına gelir (Hanfmann 1972).



**Şekil 1.1.** Örnek sıçratma sistemi ([ia.physik.rwth-aachen.de/research/sputtering/www-sputter-eng.pdf](http://ia.physik.rwth-aachen.de/research/sputtering/www-sputter-eng.pdf))

Şekil 1.1'de en basit tasarımı verilen bir sıçratma sisteminde kaplama verimliliği ve kalitesini iyileştirmek amacıyla tasarımda yapılan değişikliklerle daha gelişmiş sistemler dizayn edilmiştir. Bu sistemler gelişme sırasına göre şöyle sıralanabilir.

- 1) Diyot sıçratma sistemi,
- 2) Konvansiyonel manyetik alan,
- 3) Dengesiz manyetik alan,

- 4) R.F. veya mikrodalga deşarj kullanan gelişmiş iyonizasyonlu manyetik alan,
- 5) Düşük basınçlı manyetik alan,
- 6) Yüksek hızlı manyetik alan ve kendi kendine sıçratmalı manyetik alan,
- 7) Ferromanyetik malzemeler için sıçratma kaynağı.

Sıçratma verimliliğinin az olması nedeniyle diyet sıçratma çok fazla kullanım alanı bulamamıştır. Konvansiyonel ve dengesiz magnetron sıçratma sistemleri için sıçratma işlemini kuvvetlendirmek amacıyla manyetik alan kullanılır. Bu, daimi mıknatıslardan veya elektromıknatıslardan yararlanılarak yapılır. Manyetik alan ve kendi kendine sıçratmalı manyetik alan sistemleri  $200 \text{ W/cm}^2$  ve üzerindeki çok büyük hedef güç yoğunluklarında çalışırlar. Manyetik alanda sıçratma yöntemi, farklı bileşimde sert kaplamalar biriktirmek için kullanılmasına rağmen manyetik alanda sıçratma sisteminde yapılan değişiklikler, yöntemi en gelişmiş sıçratma sistemi haline getirmiştir (Cansever 2001).

Sıçratma kazancı her bir iyonun hedeften söktüğü atomların sayısı olarak tanımlanır. Sıçratma kazancı sıçratma işleminde ince filmin birikme oranını belirlediği için önemlidir. Genelde bu oran 0,5–1,5 arasında değişmektedir. Sıçratma kazancının 0,5 olması, ortalama olarak hedef malzemeye çarpan iki iyonun hedef malzemedan bir atom sökmesi anlamındadır. Sıçratma kazancı aşağıdaki koşullara bağlıdır.

- Hedefe gelen iyonların geliş açısına,
- Hedef malzemenin yapısı ve şekline,
- İyonların yoğunluğuna,
- İyonların enerjisine (Quirk and Serda 2001).

Sıçratma için gerekli olan minimum enerji yaklaşık olarak süblimleşme sıcaklığıdır. Kazancın artması, sıçratmanın enerji aralığında (10–5000 eV) iyonların enerjilerine ve yoğunluğuna bağlıdır. Değişik malzemelerin argon gazı için sıçratma kazancı Çizelge 1.1’de verilmiştir (Wolf and Tauber 1986).



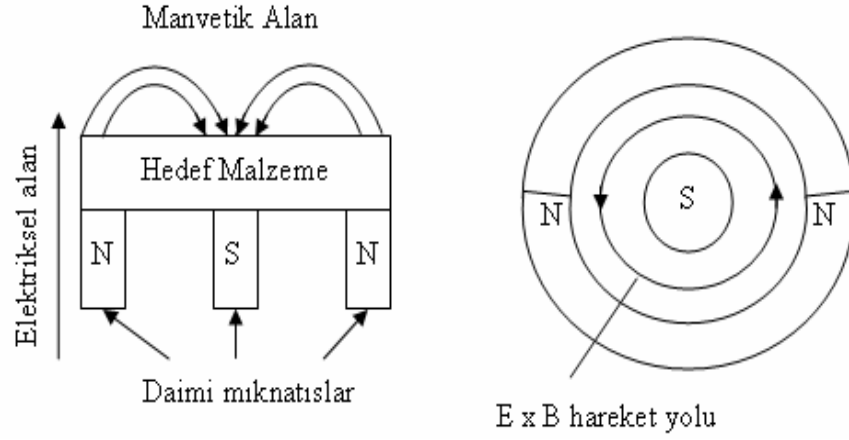
**Çizelge 1.1.** Argon gazı içerisinde atom/iyon için bazı atomlara ait sıçratma kazancı (Wolf and Tauber 1986)

Hedef	100 eV	300 eV	600 eV	1000 eV	2000 eV
Al	0,11	0,65	1,20	1,90	2,00
Au	0,32	1,65	2,80	3,60	5,60
Cu	0,50	1,60	2,30	3,20	4,30
Ni	0,28	0,95	1,50	2,10	
Pt	0,20	0,75	1,60		
Si	0,07	0,31	0,50	0,60	0,90
Ta	0,10	0,40	0,60	0,90	
Ti	0,08	0,33	0,41	0,70	
W	0,12	0,41	0,75		

### 1.2. 2. Magnetron sıçratma

Günümüzde ince film biriktirmede en çok kullanılan magnetron sıçratmanın prensipleri Penning (1936) tarafından ortaya konmuştur. Magnetronun temel özelliği hedef önünde hapsedilen plazmadır. Bu, elektrik ve manyetik alanın birleşimi ile meydana gelir. İyonlar, manyetik alan çizgileri doğrultusunda helezonik yörüngede çok yüksek iyonizasyon etkisi oluşturacak şekilde hareket eder. Bu yüzden, magnetron sistemleri çok düşük basınç ( $<10^{-2}$  Pa) veya yüksek akım yoğunluğunda, manyetik alan yardımı olmadan gerçekleşen deşarjdan daha etkin çalışır (Ellmer 1999).

Magnetron sıçratmada hedef malzeme bir tutucu üzerindedir. Bu tutucunun altında su soğutmalı mıknatıslar bulunmaktadır. Kullanılan mıknatıslar dairesel geometridedir. Dairesel şekilli bu mıknatısın bir kutbu dış yüzeyinde, diğer kutbu ise içtedir. Bu mıknatısın üstten görünüşü Şekil 1.2'de verilmiştir. Magnetronda hedefe uygulanan negatif gerilim ile mıknatısların oluşturduğu kapalı alan çizgileri boyunca sıçratma işlemini yapan argon iyonları bu bölgede hızlandırılarak hedef malzeme yüzeyine hızlı çarpmaları sağlanır. Mıknatısların kutuplarına göre manyetik alan çizgilerinin yönelimi dışardan hedef malzemenin ortasına doğrudur.



**Şekil 1.2.** Dairesel geometride manyetik alan (Cansever 2001)

Magnetron sıçratma işleminin diğer ince film üretme tekniklerine göre avantajları;

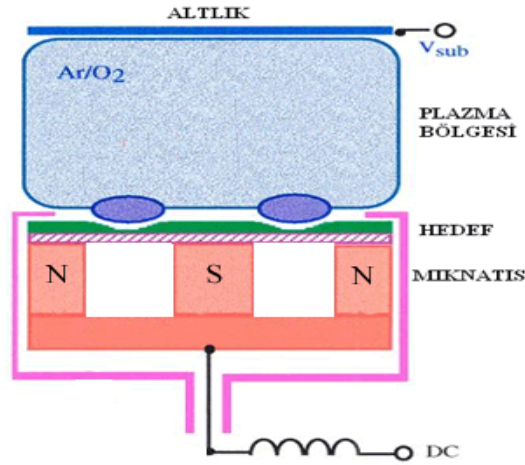
- 1) Düşük taban sıcaklığı,
- 2) Tabana kaliteli film tutunması,
- 3) Yüksek kaplama oranı,
- 4) İyi kontrol edilebilme ve uzun süreli işlemlerde kararlılığı sağlayabilme,
- 5) Çok farklı basınçlarda çalışabilme,
- 6) Ucuzluk,
- 7) Çok geniş alanlara uygulanabilme,
- 8) Eşit ve homojen film kalınlığı ve yüksek yoğunlukta filmler (Ellmer 1999).

Magnetron sıçratma işleminin dezavantajları

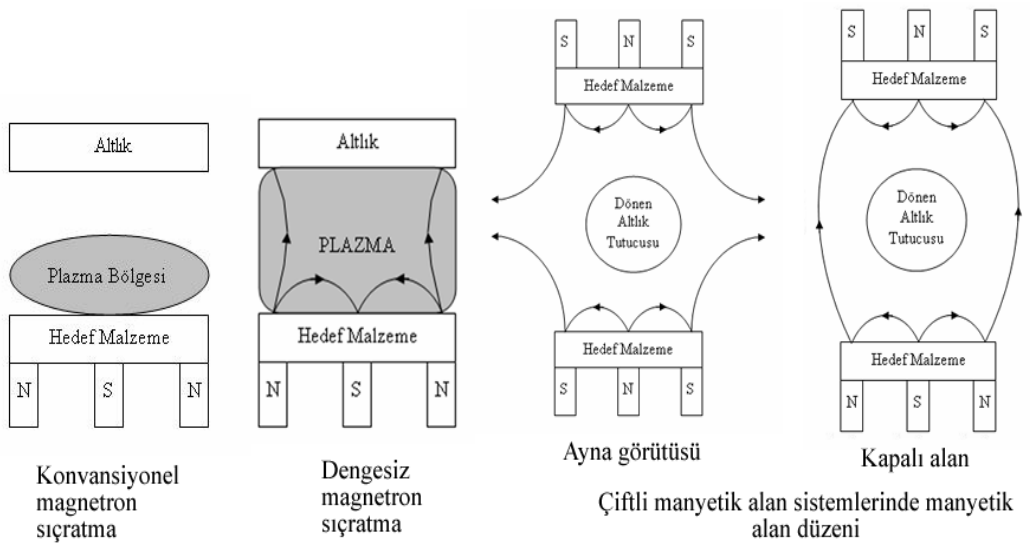
- 1) Sıçratma işlemi yüksek maliyet tutan donanımlar içermektedir.
- 2) Bazı malzemelerin biriktirilme oranı biraz yavaştır
- 3) Bazı malzemeler sıklıkla sıçratma ortamında iyon bombardımanına izin vermez ve azaltır.
- 4) İşlem düşük-orta vakum sınırlarının dışına çıktığında, büyütülen film içerisinde istenmeyen kirlilikler bulunması olasılığı yüksektir (Wolf and Tauber 1986).

### 1.3.3. Magnetron sıratma türleri

Manyetik alanda sıratma, hedef metale uygulanan gücü üreten gücü kaynağının türüne göre ikiye ayrılmaktadır. Bu kaynaklardan bir tanesi negatif gerilim DC uygulanması, diğeri ise RF ile belirli bir frekansta (13,56 Mhz) sinyal uygulanmasıdır. Manyetik alanda sıratma işleminde hedef metal önünde plazma oluşması sağlamaktadır. Plazma oluşum bölgesi Şekil 1.3’de gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Manyetik alanda sıratma düzeneği (Ellmer 1999)



Şekil 1.4. Manyetik alanların yerleştirilişine göre magnetron sıratma türleri ([http://www.ecm.auckland.ac.nz/course/cm201/424\\_Ch3G.pdf](http://www.ecm.auckland.ac.nz/course/cm201/424_Ch3G.pdf))

Manyetik alanların oluşum geometrisine göre magnetron őrıratma türleri aşağıdaki gibidir.

1. Konvansiyonel magnetron őrıratma
2. Dengesiz magnetron őrıratma
3. Kapalı alan dengersiz magnetron őrıratma
4. Darbeli magnetron őrıratma

#### **1.2. 4. Konvansiyonel dengeli magnetron őrıratma**

Hedefin n kısmında oluşan yoğun plazma bölgesi, hedeften itibaren őrıratma işleminin parametrelerine bağlı olarak deđiőmekle beraber yakın bir mesafededir. Altlık plazma bölgesi içine yerleőtirilirse, yeterli miktarda iyon bombardımanına uğradıklarından filmin fiziksel ve kimyasal özellikleri istenildiği gibi deđiőtirilebilir. Film zelliklerindeki deđiőtirmeler, yzeyeye çarpan iyon enerjisi, birikme hızı ve altlıkda ölçülen iyon akım yoğunluğu ile kolayca kontrol edilebilir. Ancak altlık plazma bölgesinin dışına yerleőtirildiđinde plazma yoğunluğu az olacağından, iyon bombardımanı yetersiz olacaktır. Bu nedenle konvansiyonel magnetron őrıratma ile büyük ve karmaőtik parçalar üzerine çok yoğun ve kaliteli kaplamalar zorlaőtır. Altlık iőtlem esnasında çok fazla ısınmadığından plastik gibi sıcaklığa karőtı hassas malzemeler üzerine de kaplama yapılabilmektedir (Cansever 2001).

#### **1.2. 5. Dengersiz magnetron őrıratma**

Dengesiz alan magnetron őrıratma ilk olarak Window ve Savvied (1986) tarafından kullanılmıştır. Mıknatısların kuvvetlerindeki farklılık, manyetik alan dağılıımının deđiőtmesine ve hedef önünde oluşan plazmanın geleneksel formdan farklılık kazanmasına sebep olur. Merkezi mıknatısın kuvveti çevresindeki mıknatıslardan fazla ise manyetik alan çizgileri merkezeden dıőa doğru kapanmayabilir ve iyonlar plazma bölgesinden kaçıp vakum odasının duvarlarına doğru hareket edebilirler. Bu iyon yoğunluğunun azalmasına sebep olur. Gösterilen sebeple bu teknik çok

kullanılmamaktadır. Eğer dışarıdaki mıknatısların şiddeti ortadakinden fazla olursa, manyetik alan çizgileri altlığa kadar ulaşır. Bu ise iyon akısını artırır (Dakai and Qingchuan 2005).

### **1.2. 6. Kapalı alan dengesiz magnetron sıçratma**

İki tane dengesiz manyetik alan birbirine ters olacak şekilde yerleştirilebilir. Mıknatısların kutupları aynı olacak şekilde, bir ayna görüntüsü gibi veya mıknatısların kutupları birbirine zıt olacak şekilde, bir kapalı alan geometrisinde yerleştirilerek çiftli manyetik kapalı alan meydana getirilir. Ayna görüntüsü düzeninde iki manyetik alan çizgilerinin birbiri ile etkileşmesi yana doğru yayılmaktadır. Bu durumda, çizgileri takip eden sıçratılmış atomların plazmadan kaçmasına neden olabilir. Sonuçta altlık bölgesinde plazma yoğunluğu düşer ve iyon bombardımanı azalır. Kapalı alan düzeninde ise, mıknatıslar arasındaki manyetik alan çizgileri, plazma içindeki sıçratılmış atomları hapsedecek şekilde kapalı alan oluştururlar. Kapalı alan düzeninde altlık bölgesinde iyon bombardımanını artıran yoğun bir plazma elde edilir. Bu teknik, magnetron sıçratma yöntemleri içinde en pratik ve çok yönlü olan bir yöntemdir. Büyük ve karmaşık şekilli altlıklar üzerine yüksek birikme hızlarında kaliteli metal ve alaşım üretiminin yanısıra çok katlı tabakalar oluşturma ve seramik kaplama özelliğine sahiptir. Parametrelerin geniş bir aralıkta değiştirilmesi ile kaliteli ince film de oluşturulması mümkündür (Cansever 2001).

### **1.2.7. Reaktif magnetron sıçratma**

Sıçratma işlemi sırasında ortama sadece argon gazı verilmeyebilir. Eğer oluşturulmak istenen ince film bir reaktif gazla (oksijen gibi) birleştirilerek altlık yüzeyin kaplanması isteniyorsa, ortama argon gazı ile birlikte ikinci gaz verilebilir. Reaktif gaz karışımı DC ve RF sistemlerde kullanabilen bir özelliktir. Ortamda reaktif bir gaz bulunuyorsa yapılan sıçratma işlemi reaktif sıçratma olarak adlandırılır.

## **2. KURAMSAL TEMELLER**

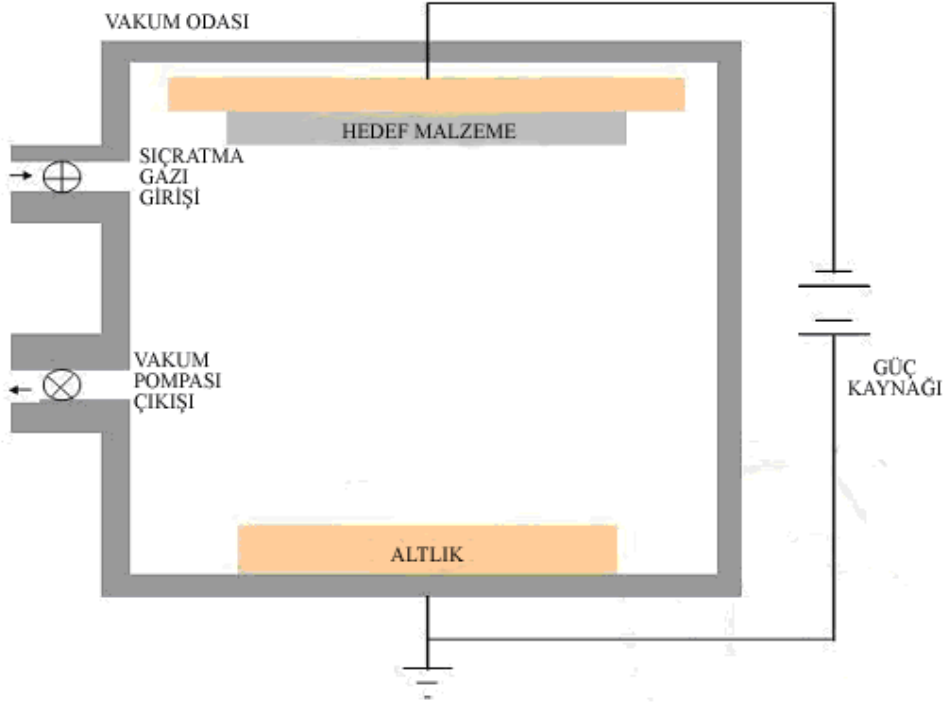
### **2.1. DC Reaktif Manyetik Sıçratma**

#### **2.1.1. DC reaktif magnetron sıçratma işleminin temel özellikleri**

DC reaktif manyetik sıçratma daha önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi manyetik sıçratma tekniğidir. Adından da anlaşılacağı gibi bu teknikte güç kaynağı DC'dir. Negatif DC polarma ile çalışmaktadır. Sistemde hedef malzemeye dış kılıfa göre negatif polaritede gerilim uygulanmaktadır. Uygulanan negatif polarma nedeniyle elektron kaybetmiş ve pozitif yüklü hale gelmiş olan iyonlar (burada  $Ar^+$  iyonu olacaktır) hedef malzemeye doğru yönelecektir. Uygulanan gerilimin polaritesi ve magnetik alanın yardımı ile hedef malzemenin hemen önünde argon atomlarından oluşan plazma oluşur. Bu plazma içinde ortaya çıkan yüksek enerjili argon iyonları çok hızlı bir şekilde hedef malzemeye çarparak, buradaki atomları söküp ortama yayılması ve altlık üzerine yönelmesi sağlanır. Bizim kullandığımız tekniğin reaktif olarak adlandırılmasının sebebi ise ortamda oksitleyici olarak oksijenin bulunmasıdır. ZnO ince film üretimi için ayrıca tepkimeye giren ve reaktif bir gaz olan oksijen gazı, argon gazı ile birlikte sisteme verilerek argon atomları sayesinde hedef malzemedan sıçratılan Zn atomları altlık yüzeye ulaşmadan ortamdaki oksijen ile tepkimeye girerek, altlık üzerinde hedeften farklı yapıda bir ince film oluşturması sağlanmaktadır.

#### **2.1.2. DC reaktif magnetron sıçratma işleminin yapılışı**

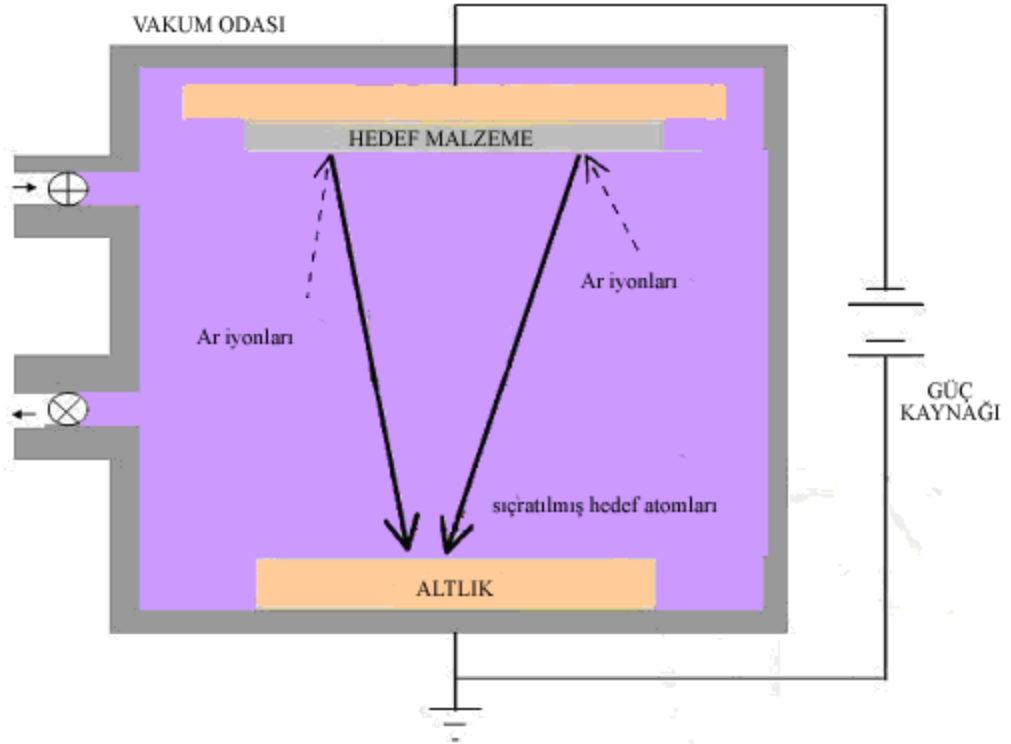
Sıçratma işlemi için ilk olarak uygun düşük basınç ortamı sağlayacak bir hacim oluşturulmalıdır. Yapılacak tüm işlem bu ortamın içinde gerçekleştirilir. İlk olarak sistemimizi oluşturan vakum odası işlem sırasında rahatça gerçekleşen olayları görebileceğimiz bir şekilde olmalıdır. Vakum odası düşük basınçlara dayanıklı olacak şekilde hazırlanmıştır.



**Şekil 2.1.** DC reaktif manyetik sıçratma sistemi (Pauza 2004)

Vakum odasına girecek olan tüm malzemeler işlemden önce odaya alınırlar. Güç ve diğer bağlantı uçları ise dışarıya hava sızmasını önleyecek bir şekilde ara bağlantı elemanları üzerinden aktarılır. Güç kaynağının 0 potansiyeli (şase terminali) sistemin gövdesine bağlanmıştır. Toprağa göre negatif gerilim veren uç ise hedef malzemeye bağlanmıştır. Şekil 2.1’de bu sistem görülmektedir.

Sistem içerisine konulacak hedef malzeme ve numunenin yerleştirilmesi sonrası vakum odası kapatılır. Bundan sonra ortamdaki hava rotary vakum pompası yardımıyla ön vakumlama yapılır. 500 lt/s kapasiteli turbo moleküler pompanın hızı 120x60 devir/dk değerinde sabit tutularak, DC reaktif manyetik sıçratma işlemi için yaklaşık  $10^{-2}$ - $10^{-3}$  Torr’da vakum ortamı oluşturacak şekilde ortama kontrollü saf argon gazı verilir. Bu vakum ortamı sağlandıktan sonra sisteme argon gazına ilaveten oksijen gazı kontrollü olarak 0-20 ccpm’e kadar kontrollü olarak verilir. Sistemin en uygun çalışma basıncı argon-oksijen gazı oran ve basınçları ayarlanarak yapılabilir.

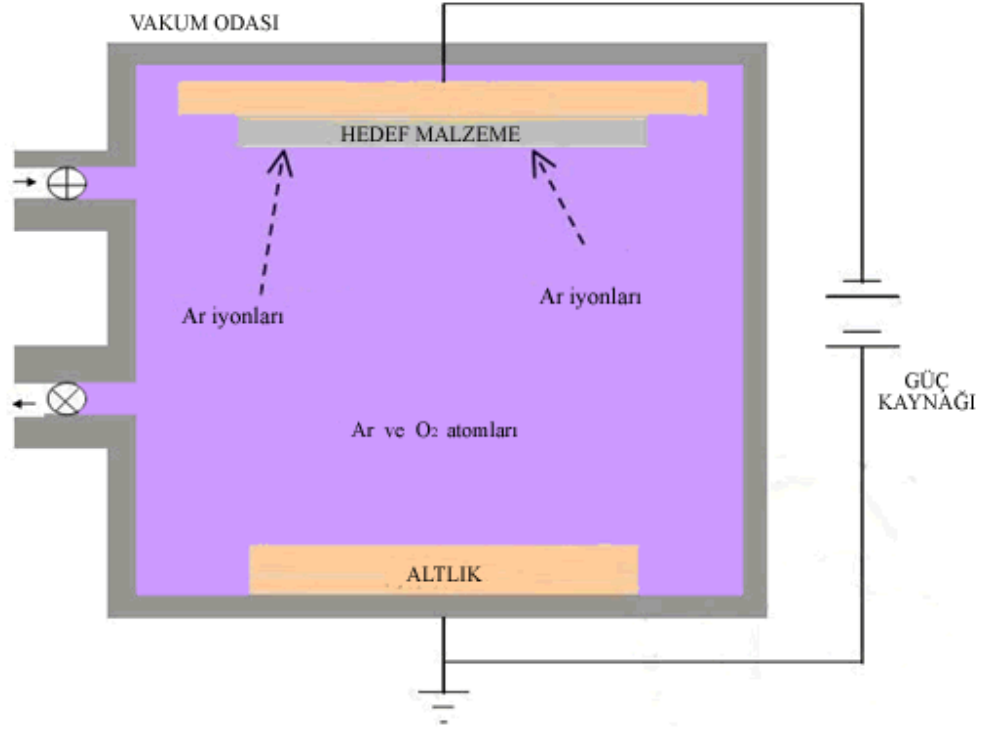


**Şekil 2.2.** DC reaktif manyetik sıçratma sisteminde argon ve oksijen gazı verilmiş düşük basınç altındaki durumu (Pauza 2004).

Vakum ortamı hazırlanıp, ortama sıçratma işlemi için gerekli olan argon gazı ve reaktif sıçratma için kullanılan oksijen gazı verildikten sonra, sisteme güç verilip plazma oluşturulur. Şekil 2.2’de hazırlanmış olan sistem görülmektedir.

Sisteme güç verildikten sonra hedef malzemenin hemen önünde plazma oluşur. Plazma ortamında argon atomları iyon halindedir. İyon halindeki bu atomlar manyetik ve elektrik alan sayesinde oluşan plazma bölgesinden hızlı bir şekilde hedef metale çarpar. Bu çarpışma ile hedef metalin yüzeyindeki atomlar sökülür. Sökülen bu atomlar hedefin tam karşısında bulunan altlığa doğru hareket eder. Altlık yüzeye ulaşmadan ortamda bulunan oksijen atomu ile bileşik oluşturarak, altlık üzerinde ince film oluşumu başlar. Altlık yüzeyde yeterli film kalınlığına ulaşıldıktan sonra güç kesilir. Ortama verilen oksijen ardından argon gazı kesilir ve ortamın vakumu atmosfere açılarak numune dışarı alınır.





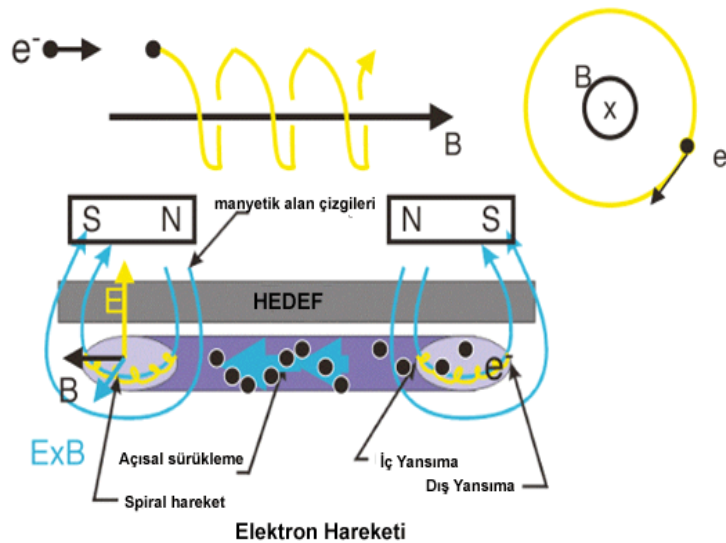
Şekil 2.3. DC reaktif manyetik sıçratma sisteminde ince filmin birikmesi (Pauza 2004)

### 2.1.3. Plazma bölgesi

Plazma, maddenin hallerinden birisidir. Katı, sıvı ve gaz haline ilaveten maddenin dördüncü haline plazma hali denir. İlk üç durum, maddenin atomlarının veya moleküllerinin arasındaki bağların zayıf veya kuvveli olması durumuna göre adlandırılır. Maddenin bu durumlarında atomlar nötralliklerini korur, hatta maddenin atomları bu durum çerçevesinde birbirine bağlanır. Dünyada bu üç haldeki madde doğal olarak bulunmaktadır. Fakat bazı özel şartlar altında, bu üç halden farklı durumda bulunan maddelerin bulunduğu gözlenmiştir. Plazma adı verilen bu dördüncü halde, maddenin atomları pozitif yüke sahip halde bulunmaktadır. Plazma halinde atomların iyonlaşmasını sağlayacak kadar yüksek bir sıcaklık bulunmaktadır ve bu durumda bağlı elektronlar ait oldukları atomları terk etmektedir (iyonlaşma). Atomların termal olarak kazandığı enerji sebebiyle elektrik yüklerinin elektriksel etkileşimleri plazma halindeki maddenin parçacıkları arasında baskın bir rol üstlenemez. Plazma serbest yüklerden oluştuğundan, elektromagnetik etkileşimlerde bulunabilirler. Sistem,

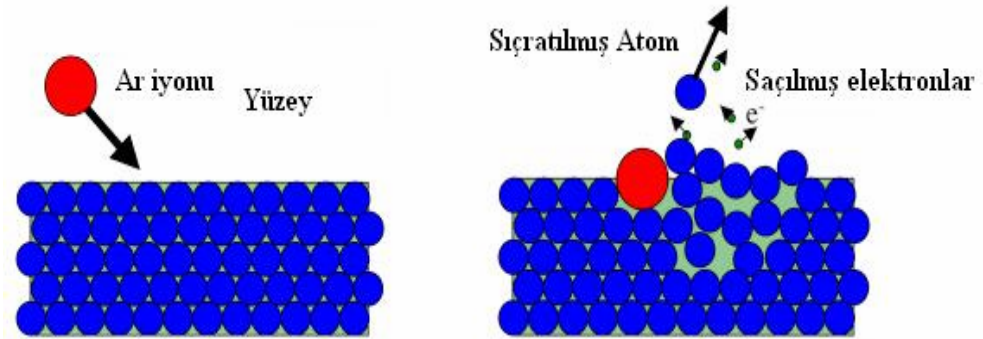
dışardan bakıldığında normalde nötr durumda görülür. Fakat eğer sisteme etki eden elektronmagnetik kuvvetler, parçacıklar arasındaki kuvvetlerden fazla ise etkilenebilir. Plazmanın bu nötral yapısına yarı nötrallik adı verilir. Plazmanın sahip olduğu diğer bir özelliği ise diyamagnetik özelliğin bir sonucu olarak elektrik yüklerinin toplu davranışlar göstermesidir. Plazmayı oluşturan plazma parçacıklarının yerel dağılımları bu etkiyi gösterecek şekilde yeterli sayıda olmalıdır. Toplu davranış göstermesi için belirli bir bölgede çok sayıda serbest parçacık olması gerekmektedir (Türeci 2001).

DC reaktif manyetik sıçatma işleminde oluşturulmuş olan ve hedef malzemedeki atomların kopması ve altlık üzerine yapışması olayının gerçekleştiği bölgeye plazma bölgesi denilir. Güç kaynağı açıldıktan sonra uygun şartların sağlanması halinde plazma ortamı oluşur. Plazma pozitif iyonların ve elektronların bulunduğu bölgedir. Vakum ortamında elektrik ve manyetik alan tarafından plazma ortamının geometrisi şekillendirilir. Plazma ortamı argon atomlarının pozitif iyon olarak bulunduğu ve bu atomların manyetik alan sayesinde hedef metal yönünde hızla ilerlediği bölgedir. Elektrik alanı bu bölgedeki argon iyonlarının kinetik enerji kazanmasını sağlamaktadır. Uygulanan gerilim arttıkça argon iyonlarının hedef metale doğru hareketi ve oluşturulan plazmanın hacmi artar.



**Şekil 2.4.** Plazma bölgesindeki elektrik ve manyetik alan durumu ( <http://www.gencoa.com/1,120-What-is-sputtering.htm> )

Plazma bölgesinde bu genişliğin artması sonucunda daha fazla hedef metal atomunun sıçratılması sağlanır. Temel olarak elektrik ve manyetik alanda hareket eden argon iyonu manyetik alana bağlı olarak manyetik alan çizgisi üzerinde sarmal bir şekilde ilerler. Bu hareketin oluşturduğu kinetik enerji sayesinde argon iyonları çok daha hızlı bir şekilde hedef yüzeyine çarparak yüzeydeki atomları söker. Diğer bir ifade ile, argon iyonunun kazandığı momentum yüzeydeki atomlara aktarılır ve buradaki atomlar aldıkları bu momentum ile yüzeyden koparak ortama salınır ve altına yönelirler.



**Şekil 2.5.** Yüzeye atomun çarpması durumunda yüzeyden sıçrayan atomlar (<http://www.gencoa.com/1,120-What-is-sputtering.htm>)



**Şekil 2.6.** Plazma bölgesi ve hedef metalin sıçratma işleminden sonraki erozyonu ([bama.ua.edu/~phx34/SP04/09SputterDeposition.ppt](http://bama.ua.edu/~phx34/SP04/09SputterDeposition.ppt))

DC reaktif magnetron sıçratma işleminin sonunda hedef metalde oluşan erozyon gözle görülebilir şekildedir. Hedefin üst kısmındaki atomlar manyetik alanın şekline bağlı olarak aşınmıştır. Şekil 2.6'da ortadaki resimde, sıçratma işlemi sonucunda aşınmış

olan hedef malzeme görülmektedir. Manyetik alan çizgilerinde görüleceği gibi, aşınma manyetik alan çizgilerini takip etmektedir. Bu da bize magnetron sıçratmada mıknatısların etkisini göstermektedir. Oluşan plazma şekline bağlı olarak sıçratma anında plazmanın dairesel bir şekilde oluştuğu ve sıçratılacak atomları özellikle hedef malzemenin kenar bölgelerinden yoğun olarak söktüğü görülmektedir.

## 2.2. Mevcut Sistemin Özellikleri ve Eksikleri

Bu çalışmada kullandığımız cihazın özellikleri bu bölümde anlatılmaktadır. Sistemin basınç kontrolü bilgisayar ile yapılmaktadır. Şekil 2.7’de görülen ünite de bulunan kontrollürlle vakum ortamı sağlayan pompalar ve bunların soğutma fanları kontrol edilir. Şekil 2.8’de Sıçratma işleminin yapıldığı bölüm görülmektedir. Pyrex camdan yapılmış fanus vakum ortamı sağlamaktadır. Sistemin bu kısmında termal buharlaştırmanın da yapıldığı alt birimler bulunmaktadır. Vakum pompası ve soğutma sistemi cam fanusun altındaki kapalı bölme içerisinde bulunmaktadır. Pratik kullanım için pyrex cam fanus motorlu bir sistem aracılığıyla dikey doğrultuda kaldırılıp indirilmektedir.

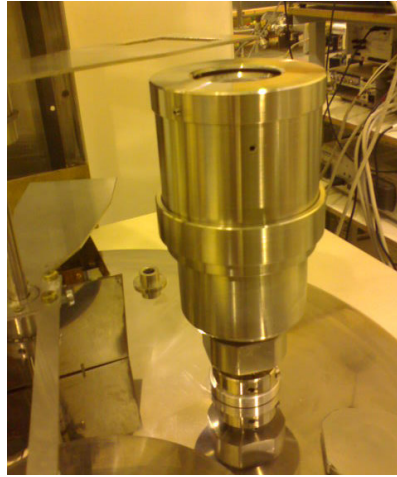


**Şekil 2.7.** DC reaktif manyetik sıçratma sistemi kontrol ünitesi

Şekil 2.9’da manyetik sıçratma işleminin yapıldığı kısım bulunmaktadır. Ortadaki boşluk kısım hedef metalin yerleştirildiği bölümdür. Bu kısmın hemen üstünde altlığın konulduğu kısım bulunmaktadır. Altlığın penceresi tam hedef metalin üzerine gelecek şekilde yerleştirilir.

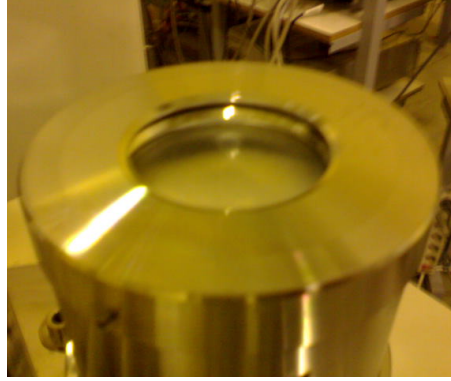


**Şekil 2.8.** DC reaktif manyetik sıçratma sistemi genel görünüşü.



**Şekil 2.9.** Hedef metalin ve altlığın yerleştirildiği bölümler.

Şekil 2.10'da hedef metalin yerleştirildiği kısmın yakın mesafe görünümü verilmiştir. Bu bölümde görüldüğü gibi hedef mazleme 2 inç çapında disklerdir. Disk kalınlığı 1/8 – 1/4 inç aralığında değişmektedir. Sistemin sahip olduğu özellikler ile DC reaktif manyetik sıçratma yapmasına uygun olmasına rağmen güç kaynağı olmadığından bu yöntem kullanılamamaktaydı. Bu sistem için güç kaynağı yapımı gerekmektedir. Daha önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi uygun DC veya RF gerilim kaynağı olmadan plazma ortamı ve sıçratma işlemi gerçekleştirilemez.



**Şekil 2.10.** Hedef metalin konulduğu bölüm

### **2.3. DC Güç Kaynağı Tasarımı**

Magnetronu beslemede kullanılacak güç kaynağının bir plazma oluşturma ve plazmanın devamlılığını sağlayacak özellikte olması gerekmektedir. Öncelikle güç kaynağının çıkış gerilimi -500 veya -600 Volt civarında olmalıdır. Güç kaynağı maksimum 1A akım sağlamalıdır. Ayrıca ilk plazmanın oluşması için 1 ms süre ile ekstradan -800 V uygulayan bir ara birim de gerekmektedir.

Sistem gerekli bu özelliklerinin yanı sıra, güç kaynağının aşırı akıma karşı korunması için akım ve gerilim sınırlaması özelliğine sahip olmalıdır. Sistemin güvenliği ve toprak problemlerinin olmaması için güç kaynağının girişi ile çıkışı arasında yalıtım olmalıdır.

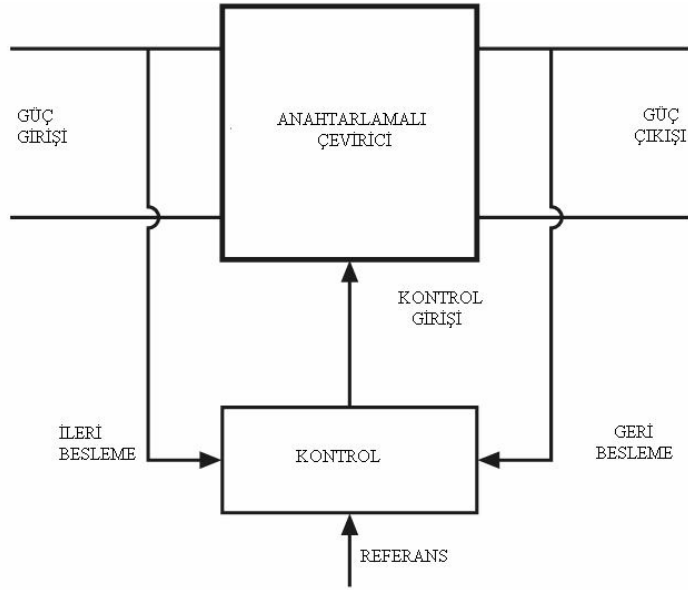
### **2.4. ZnO Üretiminde Sıçratma Tekniği**

Zn üretimi için reaktif sıçratma tekniğini kullanmamızın sebebi Zn nin termal buhar basıncının yüksek olması ve reaktif olarak ortamda oksijene ihtiyaç duyulmasıdır. Sıçratma tekniğinde sistem parametrelerinin kontrol edilmesindeki esneklik ZnO üretimini mümkün kılmaktadır. DC reaktif manyetik sıçratma tekniğinde değiştirilebilecek parametreler basınç, plazmadaki oksijen miktarı, plazma yoğunluğu ve büyütme oranı, altlık sıcaklığı ve altlık gerilimi şeklinde sıralanabilir.

### 3. METARYEL ve YÖNTEM

#### 3.1. SMPS Yöntemi ile Güç Kaynağı Tasarımı

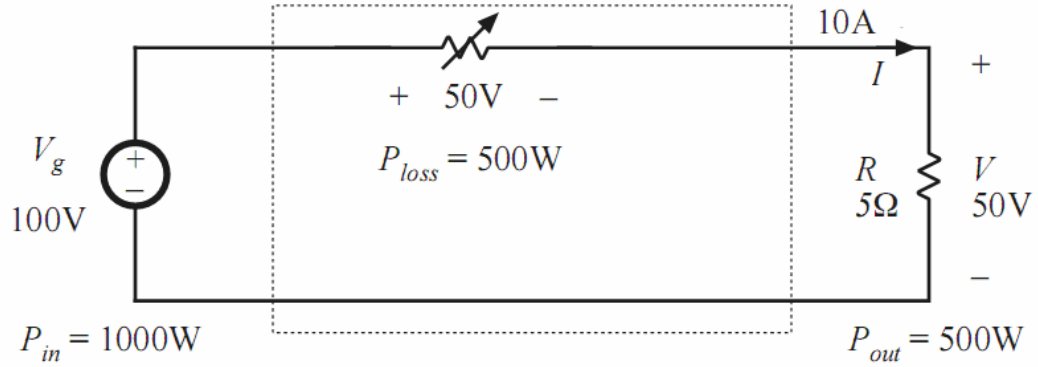
Anahtarlama Mod Güç Kaynağı (Switching Mode Power Supply-SMPS) güç kaynağı yapımında kullanılan bir tekniktir. Bu teknikte amaç girişteki gücü en az kayıpla çıkışa aktarmak ve çıkışı kontrol edebilmeyi sağlayan bir sistem gerçekleştirmektir. Anahtarlama mod da sistem çıkışından bir geribesleme sinyali ile sistemin girişini değiştirerek sistemde ortaya çıkacak güç kaybı en aza indirilir. Bu verim artışı gerçekleştirilirken sisteme adını veren ve genel hatları ile Şekil 3.1’de blok çizimi verilen SMPS tekniği kullanılır.



**Şekil 3.1.** Anahtarlama mod güç kaynağı (Erickson and Maksimović 2001).

Bu anahtarlama mod sistemde oluşturulan güç kaynağı aslında bir dönüştürücüdür. Girişteki gerilim bir doğrultma devresinden geçtikten sonra DC-DC dönüştürücü ile girişi çıkışından yalıtılmış bir sistemden geçer. Daha sonra eğer AC kullanılacaksa tekrar bir çevirme işlemi yapılır.

DC-DC anahtarlama sisteminde anahtarlama işlemi sistemde gereksiz yere harcanan ve birçok pasif eleman üzerinde kaybedilen gücü engelleyerek kazancı artırmayı hedeflemektedir. Bu işlem, girişteki gücün anahtarlama bir şekilde çıkışa aktarılması ile yapılır. Şekil 3.2’de anahtarlama olmayan bir güç kaynağının şematik gösterimi verilmiştir. Girişte uygulanan gücün bir bölümü güç ayarlama için kullanılan eleman üzerine düşmekte ve bu sebeple çıkışa ulaşan güç azalmaktadır. Bu tür klasik sistemler  $P_{loss}$  (güç kaybı) sebebi ile verimli çalışmazlar.

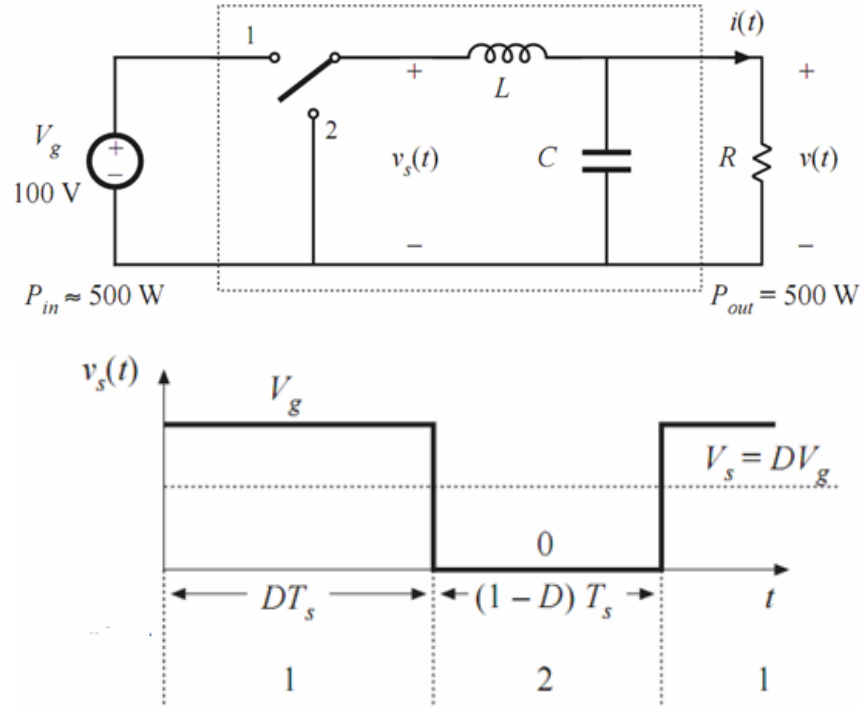


**Şekil 3.2.** Anahtarlama olmayan bir güç kaynağının modellenmesi (Erickson and Maksimović 2001).

Şekil 3.3’de anahtarlama mod da çalışan bir güç kaynağı devresinin şematik gösterimi verilmiştir. Bu anahtarlama işleminde giriş belirli bir süre açık, belirli bir süre kapalı durumda olur. Açık kaldığı bu süre ayarlanarak çıkıştaki güç miktarı ayarlanabilir.

Anahtarlama sinyalinin periyodundaki görev zamanında değişiklik yapılarak sistemin çıkışındaki güç değeri ve çıkış gerilimi (veya çıkış akımı) belirlenmiş olur. Bu sebeple anahtarlama güç kaynaklarında kullanılan frekans değiştirilerek çıkış değeri değiştirilir ve çıkışta kullanılmayacak güç girişte harcanmadığı için girişten ihtiyaç duyulmayan güç çekilmez ve sistem verimi artar. Şekil 3.3’de görüleceği gibi girişten ihtiyaç duyulan miktardaki gücün tamamı çıkışa aktardığımız bu sistem güç kaybı olmadan çalışabilmektedir.





**Şekil 3.3.** Anahtarlamalı çalışan bir güç kaynağı modellemesi ve çalışma sinyali (Erickson and Maksimović 2001).

Anahtarlamalı mod da gerekli ayarlamalar yapılarak çıkışta istenilen güç kadar gücün girişteki kaynaktan çekilmesini sağlar. Burada girişteki güç miktarı az da olsa çıkıştan büyük olmak zorundadır. Her ne kadar istenmesede yapılacak olan anahtarlamalı güç kaynağı devrelerinde, kullanılan elemanlardan ve malzemelerden bir miktar kayıp olmaktadır. Fakat anahtarlamalı olmayan güç kaynaklarına bakıldığında bu kayıp çok daha azdır.

## 3.2. Güç Kaynağı Tasarımı

### 3.2.1. Kontrol devresi tasarımı

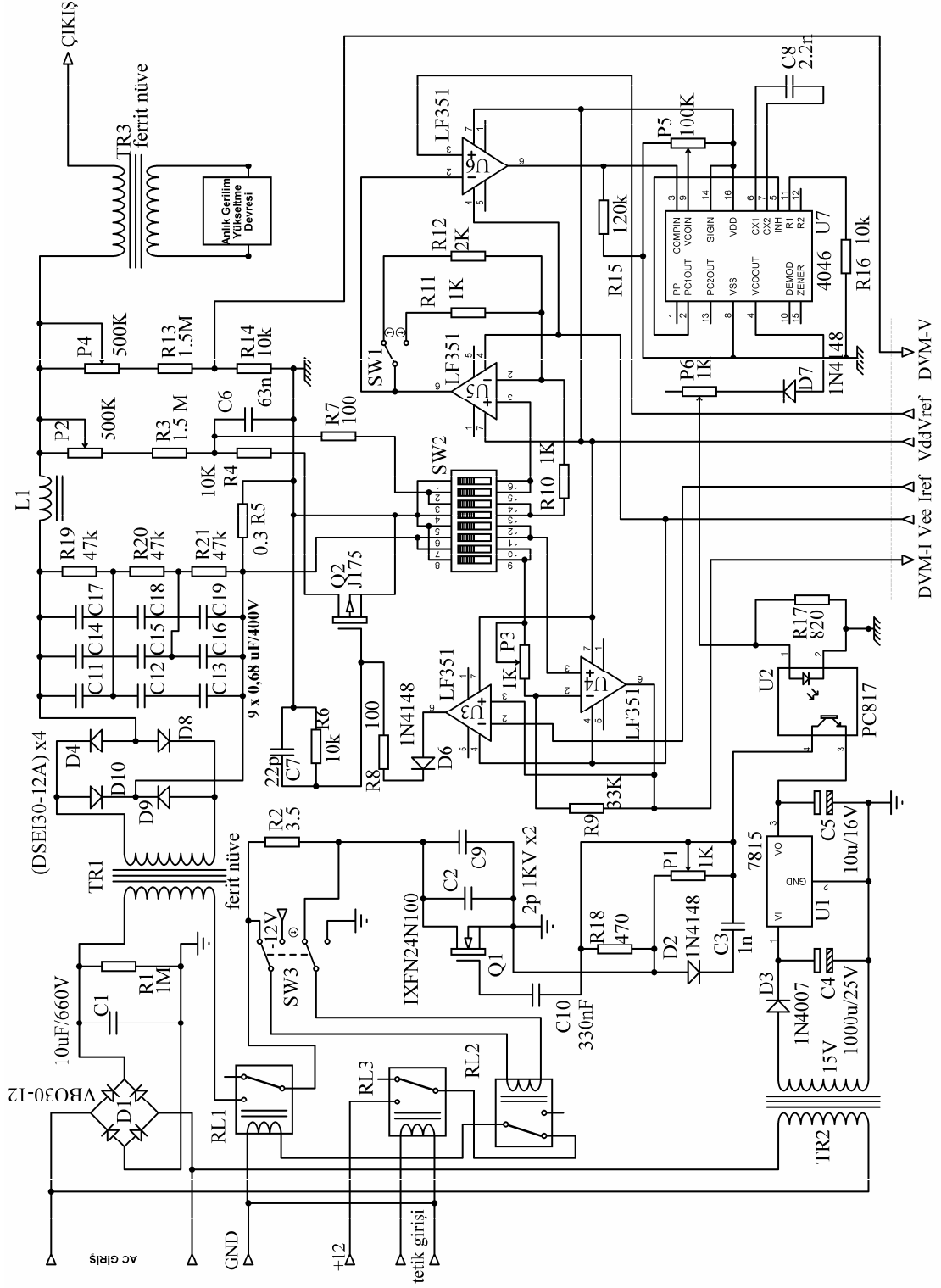
Bu bölümde anlatılan elektronik elemanlar Şekil 3.4'deki devrede kullanılan elemanlardır. Yapacağımız devrede sistemin kontrolü için bir geri besleme devresi gerekliliği vardır. Bu geribesleme devresi sistemdeki gücün aşırı artmasını ve güç

kaynağının çıkışında oluşabilecek aşırı akım ve gerilim artışlarından devreyi korur. Geribesleme devresi çıkıştaki akım ve gerilim değerini okuyup bunu uygun bir sinyale dönüştürdükten sonra kontrol edilecek elemana iletilmiş işlemi yapar. Sistemden akım ve gerilim bilgisi alınacak kısımda, gerilim bilgisi için çıkışa paralel bağlı bir gerilim bölücü devresi konulmuştur. Gerilim bölücü devresindeki direnç grubu birkaç on mikroamper akım harcayacak kadar büyük seçilmelidir. P2, R3, R4, Q2 elamanları ile bu gerilim bölme işlemi yapılmaktadır. Buradaki P2 potansiyometresi maksimum çıkış gerilimini belirler. Gerilim bölücü olan bu kısımda mosfetin kullanılmasının amacı, mosfetin kurulayıcı-kaynak terminalleri arasındaki kanal direncinden yararlanıp ve akım bilgisini kullanarak akım sınırlamasında kullanmaktır. Bunun için çıkışa seri bir direnç bağlanmıştır. Akım bilgisini alacağımız direnç çıkış akımını sınırlamayacak kadar küçük seçilmelidir. Bu direnç üzerinde düşen gerilim değeri gerekli yükseltme işleminden sonra istenilen değeri sağlayacak akım referansı ile karşılaştırılıp sistemi kontrol edebilmesi için gerilim bölücü devresine eklenen Q2 (J175) mosfeti yardımı ile sisteme dâhil edilir.

Q2 mosfeti, normal durumda gerilim gelmediğinde iç direnci çok düşük olduğu için gerilim bölücü devresini etkilememektedir. Fakat bizim ayarladığımız akım değerinden büyük bir akım çekildiği zaman örnekleme direnci üzerinde oluşan gerilim değeri artacak, U4 pozitif gerilim yükseltici ile yükseltilecektir. Bu kuvvetlendirme oranı 33 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bunun sebebi çıkışta en fazla 1A akım değeri için direnç üzerine 300 mV gerilim oluşmakta ve bu gerilim referans gerilimi olan 10 V için 33 kat artırılması gerekmektedir. Eğer daha düşük bir üst akım limit değeri istenirse, yükseltme oranı P3 potansiyometresi ile yeniden ayarlanabilir. Devreye gelen akım değeri istediğimizden fazla olduğu zaman U3 karşılaştırıcı OPAMP devresinde pozitif giriş yüksek olacağından çıkış pozitif değerde olacak ve mosfetin kapı terminaline gelen gerilim p kanallı j175 mosfetinin kanalının kapanması ve iç direncinin artmasına sebep olacaktır. Mosfetin iç direnci arttığı için gerilim bölücü devresinde R4 direnci üzerinde düşen gerilim artacağından bu çıkışta sanki aşırı gerilim varmış gibi algılanıp çıkış gerilimini yeniden düzenleyerek çıkış akımını limit değerde tutacaktır. Bu uygulamada aşırı akım bilgisi aşırı gerilim bilgisi ile birleştirilerek oluşturulacak frekans bilgisi tek bir bilgi şeklinde güç mosfetine optik kuplaj üzerinden iletilecektir.

Devrede bulunan SW2 dip-switch anahtar grubu ile şaseye göre çıkış gerilimi pozitif veya negatif olacak şekilde programlanabilir. Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra güç kaynağı çıkışı toprağa göre pozitif gerilim de üretebilecek şekilde tasarlanmıştır. SW2 çıkışında gerilim bölücüden gelen bilgi asıl sinyali oluşturacak olan U5 işlemcisine aktarılır. Burada gelen gerilim iki katı veya hiç yükseltme yapılmadan U6 karşılaştırma entegresine aktarılır. Yükseltme oranı çıkışın pozitif veya negatif olması durumuna göre değişmektedir. Bu değişimin sebebi opampın pozitif yükseltme hesabından kaynaklanmaktadır. Negatif çıkışta x2 yükseltme yapılırken, pozitif çıkış olduğunda x1 yükseltme yapılmaktadır. Karşılaştırıcı opampda gerilim referans değeri ile karşılaştırılan çıkış bilgisi değeri sinyal üretme (U7) entegresine gider. Burada eğer gelen bilgi, referans sinyalinden büyükse çıkış negatif olacağı için sinyal üretme işlemi yapan U7 (4046 entegresi) çıkışta sinyal üretmeyecektir. Eğer referans sinyali büyükse U6 çıkışı pozitif olur ve U7 entegresi ayarlanan çıkış frekansında bir kare dalga sinyal üretimi yapar.

Kullanılan U7 entegresi bir VCO (gerilim kontrollü osilator) entegresidir. Girişindeki gerilim P5 potansiyometresi ile istenilen frekansta kare dalga üretmemizi sağlar. Bu potansiyometre üzerine düşen gerilim değeri değiştirilerek çıkıştaki sinyal değiştirilir. Akım ve gerilim sınırlama için çıkıştan aldığımız gerilim bilgisi U6 entegresinden sonra U7'nin 3 numaralı kontrol girişine gelir ve bir gerilim üretimi sağlanır. Gerilim bilgisi gelmez ise çıkışta bir kontrol gerilimi üretilmeyecektir. U7 entegresi 50 kHz çıkış verecek şekilde ayarlanmıştır. Frekansın bu şekilde seçilmesinin sebebi kare dalga sinyalini aktaracak olan U2 optokuplör entegresinin çalışma frekansından kaynaklanmaktadır. Sistem çıkışı ile girişi arasında tam bir yalıtım sağlanabilmesi için geribesleme devresi bir yalıtım elemanı (optokuplör) kullanılarak sinyal aktarımı sağlanır. Optokuplör girişinde bulunan P6 potansiyometresi ile girişine gelen sinyalin genliği ayarlanır. Frekans yüksek olduğu zaman, optokuplör çıkışı doyuma gitmektedir. Bu durumu engellemek için optokuplör girişindeki kare dalga sinyalin genliği düşürülmektedir. Entegrenin özelliği olarak, kontrol girişine bir gerilim gelirse çıkışta belirlenen frekansta sinyal üretir.



Şekil 3.4. Kontrol devresi açık şeması.

P6 girişteki sinyalin genliğinin fazla olması sebebiyle optokuplörün yüksek frekanslarda sürekli doyumda bir çıkış vermesini engellemek amacıyla konulmuş bir ayar potansiyometresidir. Opto kuplör çıkışında, girişteki sinyal ile eşdeğer fakat genlik olarak daha yüksek bir sinyal, güç mosfeti Q1'in (IXFN24N100) kapı terminaline uygulanmaktadır. Optik kuplajın çıkışı ile kapı terminali arasında bulunan elemanlardan P1 potansiyometresi, kapı terminaline gelen sinyalin maksimum genliğinin ayarlanmasını sağlar. Bu güç mosfetinin kanalının maksimum açılma oranını belirler. D2 ve C3 ise sinyalin sıfır olması halinde kapı terminali kolayca 0 V gerilim durumuna getirmek içindir. Sistemin girişi ise asıl güç yükseltme işinin yapıldığı yerdir. AC girişi doğrultulduktan sonra, güç aktarımı ve yükseltme işini yapacak olan transformatöre bağlanmıştır. Burada güç mosfeti kapı terminaline gelen sinyalle Kurulayıcı-Kaynak arasındaki kanal açıldığında transformatörden geçen akım ikincil sargıda bir gerilim indüklemesine sebep olur. Güç mosfetin kanalının sürekli açık durumda olması, transformatör çıkışında gerilim oluşmamasına neden olur. Çünkü transformatör sadece uçlarından geçen gerilimin sürekli değiştiği durumlarda çıkışında gerilim oluşturmaktadır. Güç mosfetinin kapı ucuna gönderilen 50 KHz civarındaki sinyal, mosfetin kanalının açılıp kapanmasını sağlayarak, transformatörün birincil sargısında gerilim indüklenmesine neden olur. Güç mosfetinin aşırı akımdan dolayı bozulmasını önlemek ve güvenlik amacıyla bir röle grubundan oluşturulan elektronik (RL1, RL2, RL3 ve SW4) koruma devresi eklenmiştir (Şekil 3.4).

Devre girişinde bulunan röleler sayesinde güç mosfeti aşırı akımdan korunmaktadır ve ilk açılıştaki oluşacak yüksek akımdan etkilenmez. Şekil 3.4'de RL1 ve RL3 normal röle, RL2 ise hafızalı röledir. Giriş devresinden gelen ve ön panelde bulunan anahtar sayesinde oluşan sinyal ile önce RL3 rölesi kapanır. Bu durumda RL2 rölesi eğer kapalı olarak ayarlanmış ise bu durumda RL1 rölesi kapalı duruma geçer ve güç mosfetine gerilim sağlanır. Röle hafızalı olduğu için kapalı durumda kalacak ve mosfetin kapı terminaline optokuplörün çıkışından gelecek sinyale göre kanalı açıp kapatarak yükseltici trafo üzerinden çıkışa güç aktarılacaktır. Bu durumda RL3 rölesine gelen tetik sinyali kesilse bile RL2 rölesi kapalı olduğu için RL1 üzerinden mosfet beslemesi devam edecektir. Kesimi sağlamak için S3 anahtarı konum değiştirmeli, röle uçlarına ters yönde gerilim verilerek röle kapalı konumdan açık konuma getirilmelidir.

Yükseltme transformatörü seçilen bir Ferrit nüve üzerindeki sarımlar devrede mosfetin kapı terminaline gelecek sinyalin 50 kHz olması durumu için hesaplanmıştır. Burada seçilen frekans devre elemanlarının çalışması için mümkün olan en uygun aralık olduğu için seçilmiştir. Devre elemanlarında olabilecek değişikliklerle bu çalışma frekansı daha farklı olarak ayarlanabilir.

Trafonun sarım hesabı için işlem basamakları:

1. Uygun nüve seçimi yapılır,
2. Birincil sargı için sarım sayısı hesaplanır. Bu hesap;

$$N_{1min} = 10^4 \cdot \frac{\lambda_1}{2\Delta B \cdot A_c} \quad (3.1)$$

İfadesine göre yapılmaktadır. Bu hesap sonucunda birincil sargı tarafına sarılacak en az sarım sayısı belirlenmektedir. Güvenlik amacıyla saracağımız birinci sargı sayısı bunun biraz üzerinde olmalıdır. Fakat birincil sargı  $N_{1min}$  değerinden çok fazla olursa iletken uzunluğuna bağlı olarak kayıplar artmaktadır. Ayrıca kullanılacak tel 20 KHz olması ve 1A çıkış akımını sağlayabilmesi için 1mm'den fazla olmalıdır.

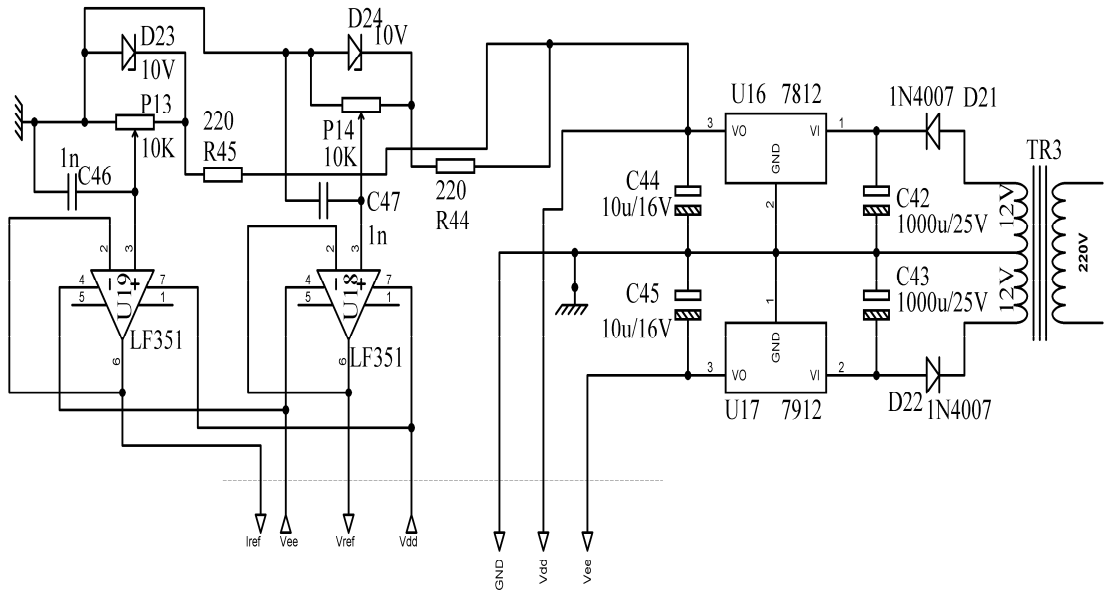
3. Birincil sargının sarım sayısına bağlı olarak ikincil sargının sarım sayısı hesaplanır.

Yükseltme trafosu olarak Ferroxcube-PM114/93 model Ferrit nüve kullanılmıştır. Bu nüveye sarılacak bobin hesabı yapılarak birincil sargı en az 7 tur olarak hesaplanmıştır. Fakat geçen akımın yüksek olacağı göz önüne alınarak primer sargısı 21 tur olarak alınmıştır. Buna bağlı olarak ikincil sargı 52 tur olarak sarılmıştır. Bu artışlar ile 1A akım hedefinden sapılmışdır ancak ilk denemelerde ortaya çıkabilecek olumsuzluklara karşı yeterli güvenlik sağlanmıştır.

Trafonun çıkışında bağlanılan köprü diyotlu doğrultma devresinde geçecek yüksek gerilimi ve trafonun ikincil sarımında oluşacak ani yükselmeleri düzenlemek amacıyla bir dizi filtre kondansatör grubu kullanılmıştır. Ayrıca ani gerilim yükselmeleri için ilave olarak çıkışa seri olarak bağlanan bobin sayesinde çıkış koruması ve ani yüksek akım oluşumu önlenmiştir.

### 3.2.2. Kontrol modülü için besleme devresi tasarımı

Güç kaynağının bu bölümünde gerilim ve akım kontrolü için gerekli olan referans gerilimi ve güç yükseltme kısımlarını kapsamaktadır. Şekil 3.5’de Şekil 3.4’deki kontrol devresinde kullanılan opamlara ait besleme gerilimlerinin ve karşılaştırıcı opamp için kullanılan referans geriliminin oluşturulduğu devrenin şeması verilmiştir. Devrede U16 (7812) ve U17 (7912) sabit gerilim düzenleyicileri olup +12V ve -12V gerilimlerini sağlamaktadır. Kontrol devresine giden gerilim, bu devredeki girişle empedans uyumsuzluğundan etkilenmemesi için devre çıkışında gerilim izleyici opamplar U18 (LF351) ve U19 (LF351) kullanılarak kontrol devresine bağlanmıştır.

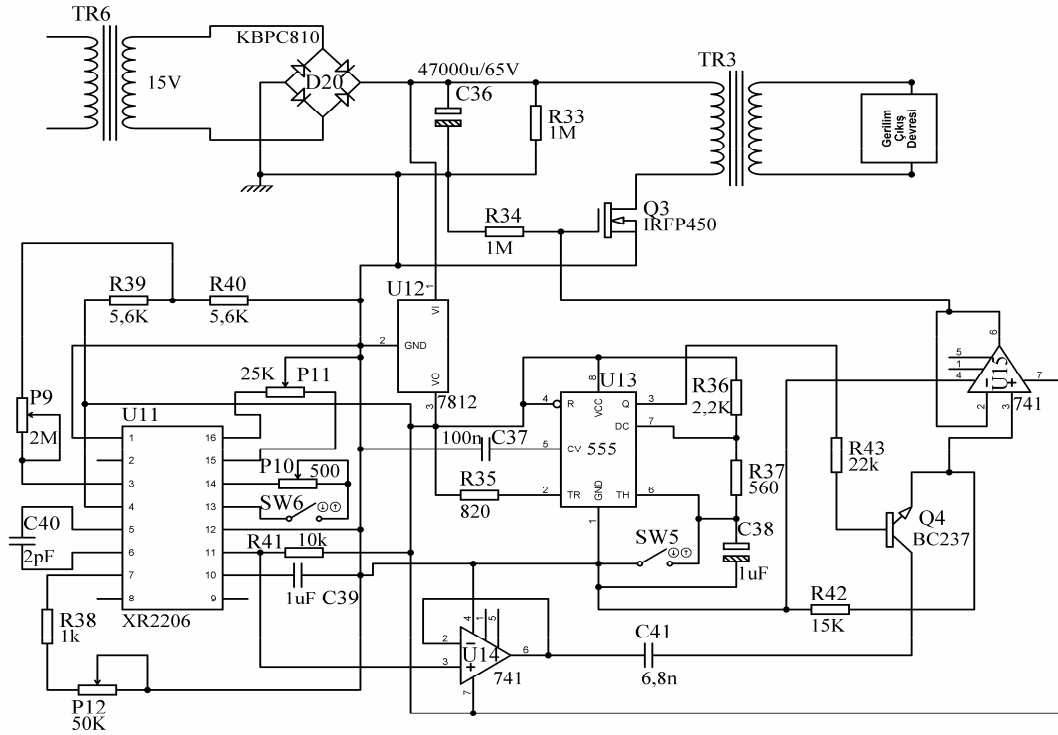


Şekil 3.5. Kontrol devresi besleme devresinin açık şeması.

Kontrol devresindeki karşılaştırma opamplarına verilen referans sinyalinin değişmemesi için bir zener diyot kullanılarak çıkış 10 V’da sınırlandırılmış ve çıkıştan alınan gerilim ve akım bilgisi de en fazla 10 V olacak şekilde hesaplanmıştır. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 devreleri tek bir kart üzerinde tasarlanmıştır. Şekil 3.4’de bahsedilen anlık gerilim yükseltme devresi ise ek bir devre olarak normal çıkış devresine seri bağlanan troide bağlanmıştır. Bu devre çalışmadığı zaman sisteme herhangi bir etkisi bulunmamaktadır.

### 3.2.3. Anlık gerilim yükseltme devresi tasarımı

Şekil 3.6'daki devre ile anlatılacak olan bu anlık gerilim yükseltme devresi çalıştırıldığı zaman çıkış değeri anlık olarak artmaktadır. Bu artış ile sıçratma işlemi için ilk plazma oluşturulur. Düşük basınç altındaki ortamda hedef mazemeden elektrik akımının geçmesi ve plazmanın ilk oluşumu için bu anlık yüksek gerilim gereklidir. Bu devre çalıştırıldığında çıkışta gerilimin çok kısa bir süre için yükselmesi sağlanmaktadır. Örneğin, 1ms lik süre içerisinde birkaç tane yüksek gerilim pikleri oluşturacak bir çıkış elde edilebilmektedir. Bunu sağlamak için öncelikle 1 ms lik sinyal çıkışını oluşturacak bir devre yapılmıştır.



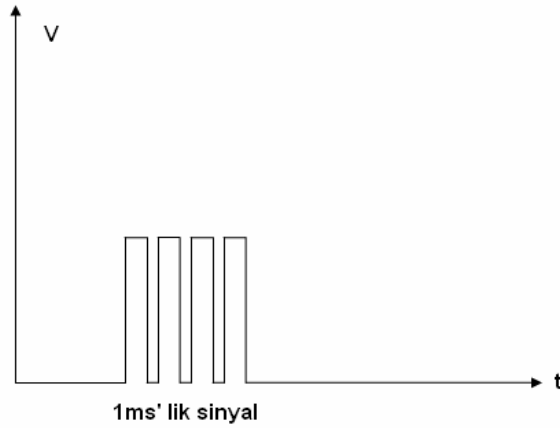
Şekil 3.6. Anlık gerilim yükseltme devresi açık şeması.

Bu devre basit olarak bir NE555 entegresi kullanılarak yapılmış bir devredir. Fakat bilinen NE555 devrelerinden farklı olarak S5 anahtarına bir defa basıldığında, basılma anından başlayarak NE555 1 ms süreli bir adet darbe üretmektedir. Asıl tetikleme sinyali ise sinyal üretici entegresi olan XR2206 tarafından üzetilmektedir. Bu entegre



ile üretilen sinüs sinyali ve NE555 entegresi ile üretilen darbe bir transistör üzerinden modüle edilir (basit VE kapısı). Q4 tranzistörü ile modüle edilen sinyal çıkıştaki pozitif gerilim yükseltici opamp ile yükseltilir. Bundan sonraki kısım kontrol devresindeki gibi Q3 mosfetin anahtarlama modunda çalıştırılması ve TR7 trafosu kullanılarak anlık yüksek gerilim çıkışı sağlanmaktadır. Şekil 3.7’de bu devredeki anlık gerilim yükseltme devresindeki güç mosfetine gelen darbe sinyalinin örneklenmiş bir şekli bulunmaktadır. Tetikleme butonuna basıldığı anda tek bir sefer üretilen 1 ms’lik darbe süresince yaklaşık 3–4 tane ara darbe oluşturulur. Bu darbeler S5 anahtarına sürekli basılı tutma durumunda da tek darbe paketi olarak değerlendirilecektir.

Tekrardan darbe göndermek için buton açık konuma getirilmeli ve butona tekrar basılarak tetikleme işlemi tekrarlanmalıdır. Sıçratma işleminde birçok parametre bulunduğundan bazen bu parametreler ve sıçratmada kullanılan hedef malzemeden dolayı bu tetikleme işleminin birkaç defa tekrarlanması gerekebilir.



**Şekil 3.7.** Anlık gerilim yükseltme devresindeki Q3 güç mosfetini tetikleyen sinyal.

### 3.2.4. Giriş devresi tasarımı

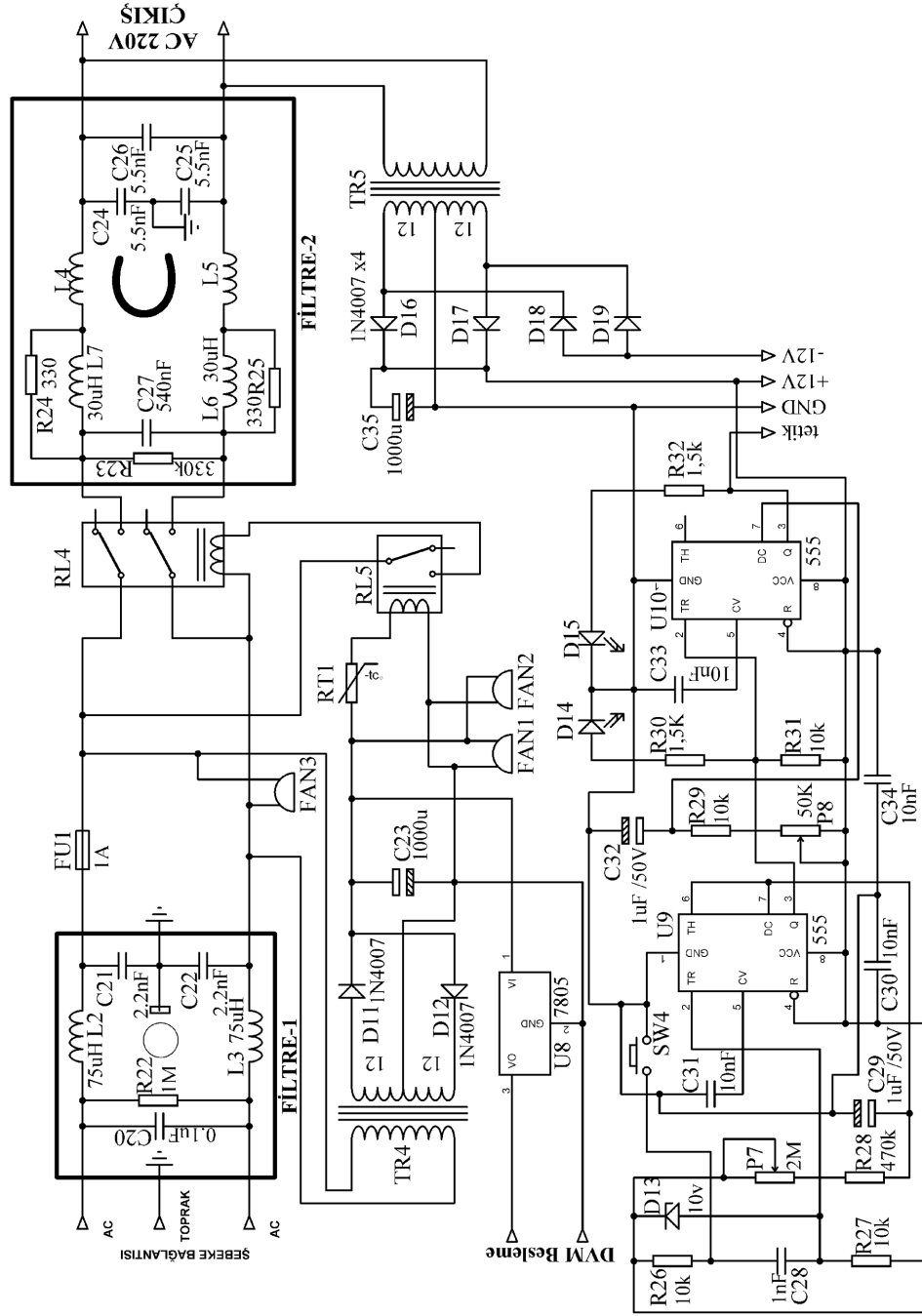
Devrenin ana girişinde bulunan ve devreye gelen beslemeler için ön koruma görevi yapar. Bu modül güç kaynağı için hazırlanan kutuya eklenecek fan ve diğer parçalar için gerekli gerilimi sağlamaktadır. Şekil 3.8’deki filtre1 ve filtre2 için hazır filtrelerden yararlanmıştır. Sistemde çıkıştan girişe doğru bir geri bildirim sinyali ve buna bağlı

olarak girişteki elemanlar çalışacağından, şebekeden gelecek gürültülerin sistem girişinde önlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca bu devre ile ön panelde bulunan DVM'ler beslenerek devre çıkış vermediği zaman bile DVM panellerinde ölçüm yapılması sağlanmaktadır. Bu da çıkış sıfır olduğu zaman DVM panellerinin doğru çalışıp çalışmadığını anlamamızı sağlamaktadır. Şekil 3.8'de bulunan TR5 trafo ile beslenen devre ise kontrol devresinde bulunan rölelerin çalışmasını sağlayan tetikleme sinyalini üretmektedir. Şekil 3.8'de bulunan SW4 butonu ön panele yerleştirilmiştir. Bu butona basıldığı zaman, kontrol devresine tetikleme U9 tarafından 10 sn süreli sinyal U10'nun girişine uygulanır ve 10. saniyenin sonunda düşen kenar ile tetiklenen U10 çıkışında 2 ms süre ile kare dalga üretir. Bu kare dalga ile Şekil 3.4'de bulunan RL1 ve RL3 röleleri tetiklenerek ana güç mosfetinin akım hattı RL2 üzerinden açılır. Geçici akım rejimlerinde veya herhangi bir nedenle sistemin kontrolden çıkması halinde Q1 mosfetinin arızalanmaması için RL2 üzerinden akımı keserek sistemi güvenli duruma getirir.

### **3.3. Güç Kaynağının Yapımı**

#### **3.3.1. Baskı devrelerin çıkartılması**

Güç kaynağında kullanılan devreler hem yerleştirme kolaylığı hem de bazı elemanların birbirini etkilememesini sağlamak amacıyla katlar ve modüller halinde plaket üzerine aktarılmıştır. Kontrol devresi ayrı ve buna ait besleme katı ayrı bir devre üzerine aktarılmıştır. Çıkışta yapılan örnekleme işleminde yüksek gerilim olduğu için ayrı bir devre olarak tasarlanmıştır. Girişteki rölenin açılması ve ön paneldeki DVM'lere giden enerji, anlık gerilim yükseltme işlemini yapması için ve girişteki anlık aşırı akım koruma işi için gerekli olan kontrol sinyalini gönderecek devreler için ayrı bir kart tasarlanmıştır.



Şekil 3.8. Giriş devresi açık şeması.

Devrede bulunan ve ısınması sözkonusu olacak elemanlar ise soğutucu üzerine yerleştirilmiş ve devreye kablolarla bağlanmıştır. Bunlar; güç mosfeti, girişteki köprü diyot, girişteki ve çıkıştaki kondansatörler, çıkış doğrultma diyotları, güç mosfetine bağlı olan taş dirençlerdir. Plaket üzerine yerleştirilen devrelerin plaket alt görünüşleri

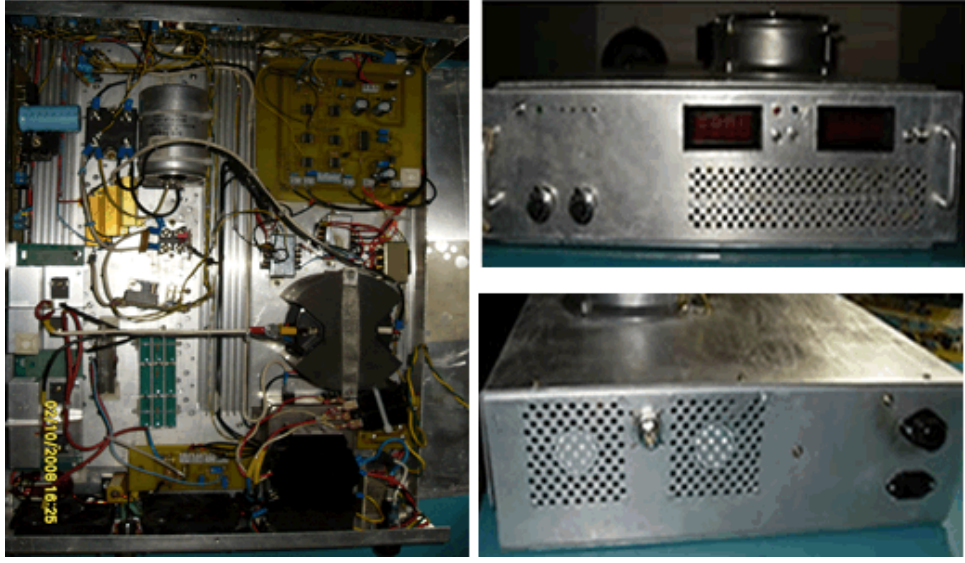
ve üstten elemanların yerleştirilme görünüşleri EK 1, EK 2, EK 3’de verilmiştir. Devre elemanlarının değerleri ise EK 4’de verilmiştir.

Devre şemalarına ait çizimlerin bakırlı plaket üzerine transfer edilmesinde Proteus programının Ares (Labcenter Electronics) baskı devre çizim programı kullanıldı. Baskısı yapılacak devrelerin pozitif görüntüsü aydınlatıcı kâğıdına lazer yazıcı vasıtasıyla aktarıldı. Bakır plakete baskılı devre 1x1 oranındaki görüntüsü (kontak transfer) Pozitif-20 fotorezisti kullanılarak aktarıldı ve  $FeCl_3-HCl-H_2O_2$  karışımında dağlanarak bağlantı yolları ortaya çıkarıldı.

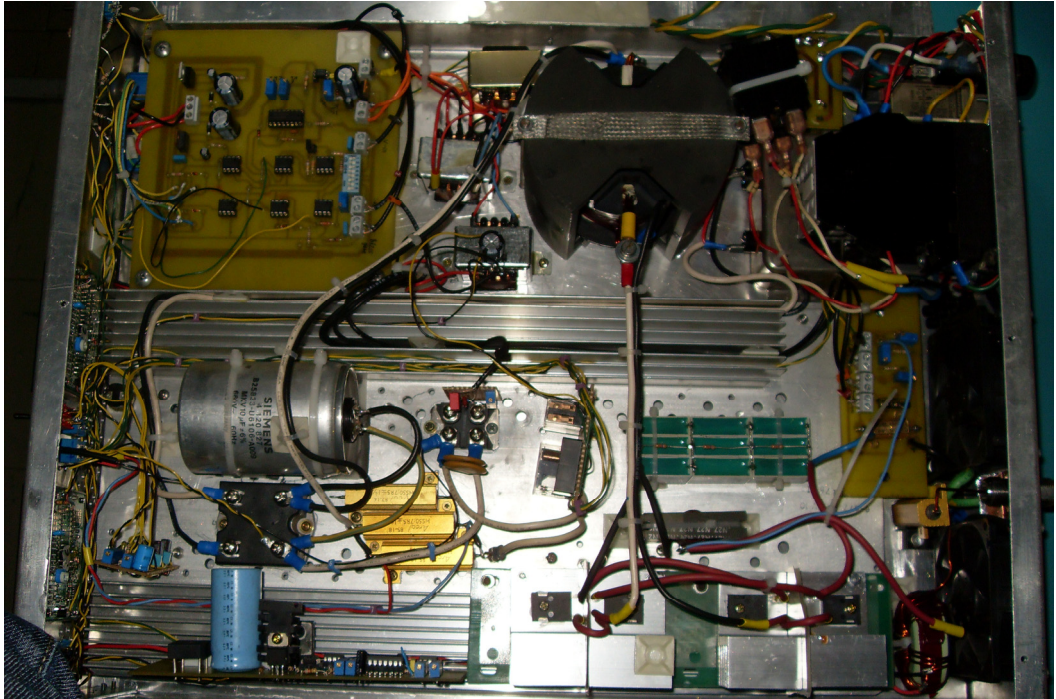
### 3.4. Güç Kaynağı ve Montajı

Bu bölümde hazırlanan plaketler ve devrenin diğer elemanları, hazırlanan güç kaynağı kutusu içerisine yerleştirilmiş hali bulunmaktadır. Güç kaynağı için hazırlanan koruma kutusunda öncelikli olarak gerekli yerler havalandırma olarak ayarlanmıştır. Yerleştirilen fanların küçük olan iki tanesi güç kaynağı içerisine, büyük olan bir tanesi ise üst tarafta dışarıya monte edilmiştir. Güç kaynağının içerisine yerleştirilen soğutucu üzerine ısınma sorunu olacak tüm elemanlar yerleştirilmiştir. Trafolar ise bir grup halinde yan yana konulmuştur. Elektrik girişi kutunun arkasından yapılmaktadır ayrıca filtreler ve sigorta bulunmaktadır.

Devrenin ön panelinde ise çıkış gerilim ve akım değerlerini gösteren DVM’ler bulunmaktadır. Akım ve gerilim ölçme için ayrı iki tane DVM yerleştirilmiştir. Bağlanılan anahtarla beraber bir konumda çıkış gerilim ve akımı gösterilirken diğer konumda set edilen akım ve gerilim değerleri aynı DVM’ler aracılığıyla gösterilmektedir. Ön panelde bulunan diğer ledler ile içerideki transformatörlerin çalışıp çalışmadığını göstermektedir. Akım ve gerilim ayarlaması için iki adet 10 turlu potansiyometre ön panele konulmuştur. Metal olan güç kaynağı kutusunun topraklaması yapılmıştır. İçerde bulunan fanlar ve üstteki büyük fan açılan deliklerden dışarı hava göndererek içerinin çalışma ısı düzeyi korunmaktadır. Şekil 3.9 ve şekil 3.10’da bu yerleşime ait resimler bulunmaktadır.



Şekil 3.9. Güç kaynağının çeşitli görünüşleri.



Şekil 3.10. Güç kaynağı elemanların yerleşimi.

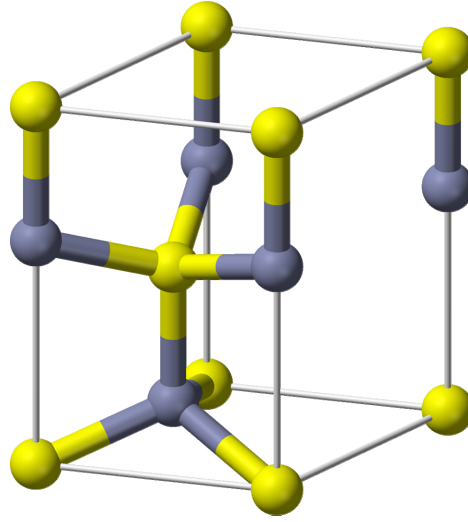
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. ZnO'in Elektronikteki Yeri

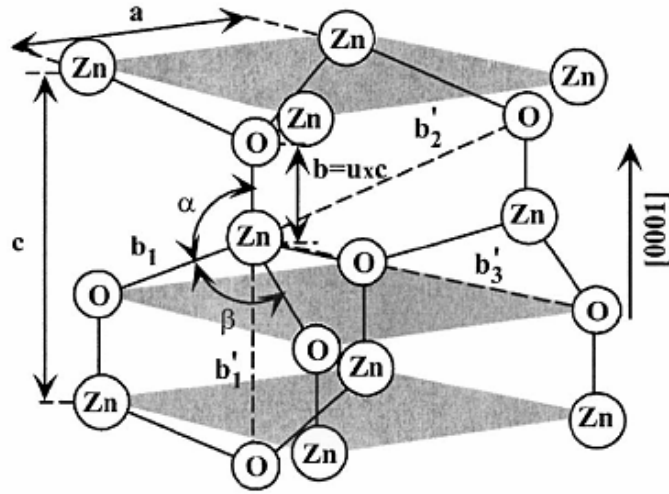
ZnO inorganik bir bileşiktir. Genelde beyaz bir toz olarak kullanılır. Elektronik uygulamalar dışında, toz olarak kullanıldığı endüstri ve üretim alanları; plastik, seramik, cam, çimento, kauçuk (lastik), boya, ilaç, yapıştırıcı, boyar madde, gıda, pil, yağlayıcı vb. alanlarda kullanılmaktadır. Çinko oksit II-VI yarıiletkenlerindedir. Periyodik tabloda Çinko ve Oksijenin atomlarının bağlı olduğu gruptan dolayı bu isim verilmektedir. Bu II-VI bileşiklerinin temel özellikleri, tek kristal durumunda çok iyi derecede şeffaf olmaları, yüksek elektron hareketliliği, geniş yasak enerji aralığı ve oda sıcaklığında güçlü ışık yaymasıdır ( [http://en.wikipedia.org/wiki/Zinc\\_oxide](http://en.wikipedia.org/wiki/Zinc_oxide)).

Çinko oksit bileşiği oda sıcaklığında doğal olarak wurtzite ve hexagonal yapıdadır. Bu yapılar çinko oksitin temel yapılarıdır. Wurtzite yapısı genel olarak katı kristal fazda değil, nano kristal fazlarda görülür. Wurtzite kristal yapıya sahip ZnO, merkezi simetrisi olmayan bir yapıdır ve bu sebeple piezoelektrik özellik (basınç sonucu elektriksel yükün oluşumu) ve pyroelektrik (ısı sonucunda elektriksel yükün oluşumu) özellik göstermektedir. Wurtzite kristal yapısına ait birim hücre Şekil 4.1'de görülmektedir. Wurtzite kristal yapısı hexagonal kristal sisteminine dâhildir ([http:// en.wikipedia.org/wiki/Wurtzite\\_\(crystal\\_structure\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Wurtzite_(crystal_structure))).

Wurtzite kristal yapıdaki ZnO bileşiğinin atomlar arası bağlanma Şekil 4.2'de verilmiştir. Çinko okside ait bazı özellikler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Burada mineral ismi olan zincite, ZnO'in doğada bulunabilen ismidir ama bu malzeme elektronik olarak kullanmaya elverişli değildir. Bu sebeple elektronik araştırmalarda kullanılan ZnO labrotuvarda üretilmektedir. Katkılar bölümünde ise çinko okside katkılıandığında elektronik özelliklerini değiştiren bazı atomlar görülmektedir.



Şekil 4.1. ZnO'nin wurtzite birim hücresi (en.wikipedia.org/wiki/Wurtzite)



Şekil 4.2. Wurtzite kristal yapıdaki ZnO'te atomlar arası bağları (Özgür *et al.* 2005).

Çinko oksit bant aralığı geniş yarıiletkenler sınıfında şeffaf iletken oksitlerdendir (TCO-Transparent Conductive Oxides). Direk bant geçişi ve yüksek yasak enerji aralığı özelliklerine ( $E_g \sim 3,4$  eV 300 K'de) bağlı olarak özellikle optoelektronik uygulamalarda kullanım potansiyeli bulunmaktadır. Çinko oksit yeni bulunmuş bir malzeme değildir, fakat yapısı ve özellikleri nedeniyle halen birçok araştırmaya konudur (Özgür *et al.* 2005).

**Çizelge 4.1** Wurtzite ZnO'nin bazı özellikleri (Pearson *et al.* 2004)

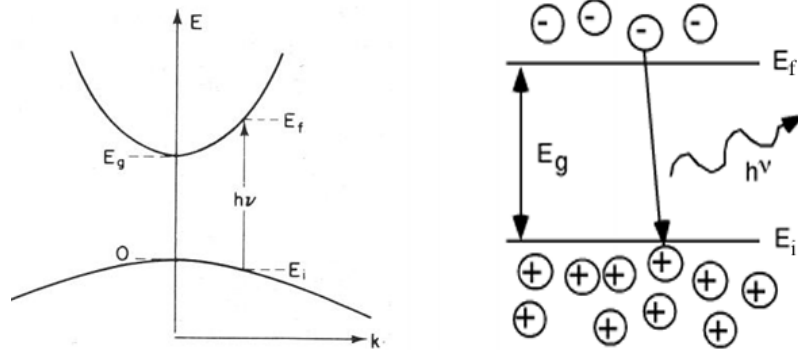
ÖZELLİK	DEĞER
Örgü yapısı (300K)	
$a_0$	0,32495 nm
$c_0$	0,52069 nm
$a_0/c_0$	1,602 (ideal hexagonal yapı 1.633'dür )
u	0,345
Yoğunluk	5,606 g/cm <sup>3</sup>
Sabit faz (300K)	Wurtzite
Erime noktası	1975° C
Termal iletkenlik	0,6, 1–1,2 W/mK
Lineer genişleme katsayısı(mm/m/°C)	$a_0 : 6,5 \times 10^{-6}$ $c_0 : 3,0 \times 10^{-6}$
Statik dielektrik sabiti	8,656
Yansıma göstergesi	2,008, 2,029
Yasak enerji aralığı	3,4 eV, direk bant geçişi
Gerçek taşıyıcı konsantrasyonu	$< 10^6$ cm <sup>-3</sup>
Eksiton bağlanma enerjisi	60 meV
Elektron etkin kütlesi	0,24 $m_e$
Elektron Hall mobilite (300 K) (düşük n-tipi iletkenlik için)	200 cm <sup>2</sup> /V.s
Boşluk etkin kütlesi	0,59 $m_e$
Boşluk Hall mobilite (300 K) (düşük p-tipi iletkenlik için)	5–50 cm <sup>2</sup> /V.s

Çinko oksidin elektronik alanında kullanıldığı uygulamalar, varistör, UV ışık filtreleri, gaz sensörleri, piezoelektrik dönüştürücüler, güneş pilleri ve saydam iletken ince filmlerdir. Günümüzde optoelektronik cihazlar gelişmekte olduğundan TCO ince filmlerin kullanımı artmıştır. Özellikle bunların kullanıldığı yerler güneş pilleri, LCD panelleri, gaz sensörleri gibi alanlardır. Çinko oksit ince filmi diğerlerinden ayıran özellikleri sebebiyle tercih edilmektedir. Bunlar, yüksek kimyasal ve mekanik kararlılıkta olması, optik ve iletkenlik özellikleridir. ZnO iletkenliği, Al<sup>+3</sup>, In<sup>+3</sup>, Ga<sup>+3</sup> gibi bazı iyonların katılanması ile artırılabilir (Yüksel ve Özkan 2006).

ZnO, direk bant aralığı ve band yapısından dolayı oda sıcaklığında bile ışımaya yapabilmektedir. ZnO mavi ışık bölgesinde enerji çıkışı verdiği için günümüzde yeni gelişen bu teknolojiye önemli bir yer almaktadır. Şekil 4.3'de direk bant geçişine sahip yarıiletkenlere ait bant aralığı gösterilmektedir. ZnO de bulunan bu doğrudan bant



aralığı ve  $\sim 60$  meV olan yüksek bağlanma enerjisine sahip eksiton (elektron ve boşluk çiftleri) nedeniyle oda sıcaklığında bile yüksek optik ışıma verimine sahiptir.



**Şekil 4.3.** Yarıiletkende direk bant geçişi (<http://cnx.org/content/m1011/latest/>) (<http://kottan-labs.bgsu.edu/teaching/workshop2001/chapter6.htm>)

#### 4.2. DC Reaktif Magnetron Sıçratma ile ZnO üretimi

Çinko oksit ince filmin üretimi için kullanılacak birçok teknikten bir tanesi DC reaktif magnetron sıçratma tekniğidir. Yapılan güç kaynağı ile daha önceden hazır bulunan sistemin çalıştırılması sağlanmıştır. ZnO ince film oluşturma, diğer teknikler ile üretimi zor olan bir yarıiletkendir. Buharlaştırma basıncının yüksek olması nedeniyle ince film üretme tekniklerinin hepsi ile gerçekleşmesi zor ve masraflı olabilmektedir. Kullanılan sistem içerisinde bulunan magnetron düzeneği ile düşük basınçlar kullanarak çinko oksit üretimi yapılmıştır. Öncelikli olarak güç kaynağı sıçratma cihazına bağlanıp gerekli ayarlamalar ve testler yapılmıştır. Hedef olarak üretilmek istenilen ince film çinko oksit olduğundan dolayı, %99,99 saflıkta çinko hedef malzemesi mıknatısların üzerine gelecek şekilde konuldu. Altlık olarak ilk önce deneme amaçlı olarak cam kullanılmıştır. Sonraki ve asıl ölçüm alınan deneyler için silisyum ve silisyum oksit altlıklar yerleştirilmiştir.

Pyrex fanus kapatıldıktan sonra ana kontrol panosundan vakum pompalarını kontrol eden sistem açıldı ve öncelikli olarak rotary pompa çalıştırılarak basıç seviyesi düşürüldü.

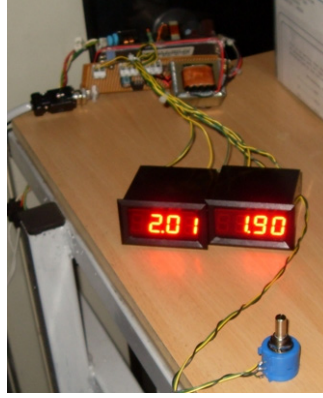


**Şekil 4.4.** Sistem vakum ölçüm panosu

Yaklaşık  $10^{-2}$  Torr'da turbo pompa çalıştırılarak asıl çalışması için gerekli vakum değerinden önce sistem  $10^{-6}$  Torr vakuma gelmesi beklendi. Bir müddet bu vakum seviyesinde çalıştırılarak içeride bulunan yabancı gazlar ve parçacıklar turbo pompa sayesinde sistem dışına atıldı. Daha sonra sıçratma işleminde kullanılacak olan gazlar, argon ve oksijen gazı sisteme verildi. Bu gazların basınç kontrolü bir flowmetre gaz kontrol cihazı ile yapılmaktadır ve sisteme verilen bu gazlar pyrex fanus içerisindeki basıncı artırır. Fanus içerisine giren gazların miktarı gaz akış ölçer ile ayarlanarak, plazmanın oluşturulabileceği vakum seviyesi elde edilir. Gaz akış ölçer olarak AERA-FC7700 CD kontrolörü kullanılmıştır. Gaz akış ölçer kullanarak basınç değeri  $3,0 \times 10^{-3}$  Torr'a ayarlanmıştır. Bir müddet bu şekilde pyrex fanus içerisine argon ve oksijen gazı verilerek, içeride sadece argon ve oksijen gazından oluşan bir ortam oluşturulur.

Güç kaynağından gerekli gerilimi sıçratma sistemine göndermeden önce çıkışta istenilen akım ve gerilim seviyesine göre referans değerleri ayarlanır. Vakum sabitlendikten ve cam fanus içerisi, argon oksijen gazı ile tamamen doldurulduktan sonra güç kaynağı açılarak sıçratma işlemi başlatılır. Plazmanın oluşması için anlık gerilim yükseltme devresi tetiklenerek bu işlem başlatılır. Bu aşamada altlık halen hedef bölge üzerinde oluşan plazmanın üstüne getirilmez. Öncelikle kısa bir süre

plazmanın kararlı hale gelmesi beklenir. Altlık plazma üzerine getirildikten sonra artık hedeften kopan atomlar altlık üzerinde birikmeye başlar. Bu durumda kullanılan hedef malzemenin özelliğine göre bir plazma rengi görülebilir. Yeterli kalınlıkta film oluşturmak için sistemin çalışma süresi ve altlığın plazma içerisinde kalma süresi uzatılmalıdır.

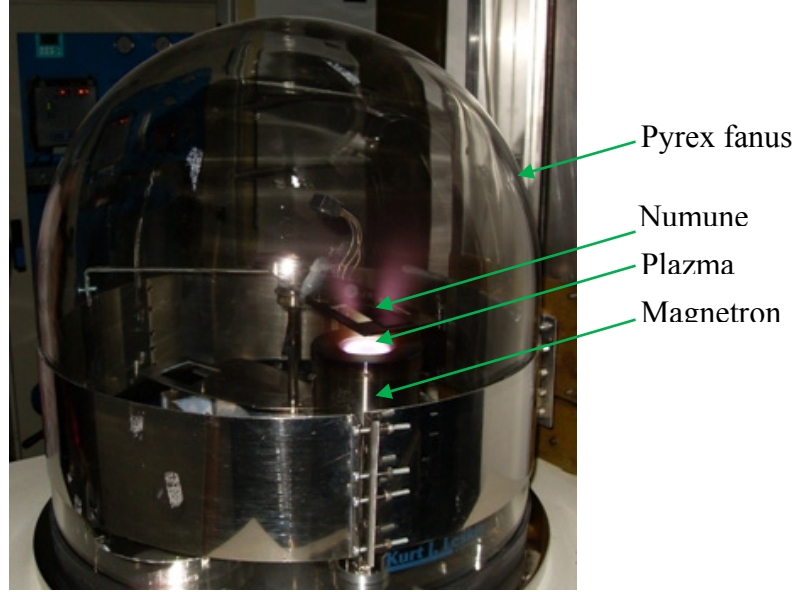


**Şekil 4.5.** Oksijen akışölçer için sisteme ilave edilen gaz akış ve set göstergeleri

Karanlık bir ortamda gerçekleştirildiği zaman manyetik alanın etkisi ile oluşan plazmanın görüntüsü, altlık üzerinde biriken film net bir şekilde çıplak gözle görülebilmektedir. İstenilen kalınlık için yeterli süre beklendikten sonra ilk önce sisteme verilen enerji kesilir. İçerideki vakum kaldırılır ve atmosfer basıncına getirilir. Pyrex fanus kaldırılıp altlık için konulan malzeme alınır. Bu işlemde birçok değişken etkindir. Bu sebeple sistemin en verimli çalışma şeklini ve üretilecek ince filmin kalınlığını ayarlamak için gerekli süreyi belirlemek amacıyla sistematik seri denemeler yapılmalıdır. Şekil 4.8’de üretilmiş olan çinko oksite ait resimler verilmektedir.

**Çizelge 4.2.** Büyütülen ZnO ince filme ait üretim parametrelerinin değerleri

Numune numarası	Altlık	Ortam Basıncı	Ortam Basıncı (Ar açık)	Turbo Pompa Hızı	Oksijen Basıncı	Akım	Gerilim	Süre
SPT021	Cam	$1,0 \times 10^{-6}$	$3,0 \times 10^{-1}$	120 Hz	1,00	65 mA	326-335 V	30 dakika
SPT022a	Si	$6,0 \times 10^{-7}$	$3,0 \times 10^{-1}$	120 Hz	1,00	65 mA	345 V	30 dakika
SPT022b	Si/SiO <sub>2</sub>	$6,0 \times 10^{-7}$	$3,0 \times 10^{-1}$	120 Hz	1,00	65 mA	345 V	30 dakika

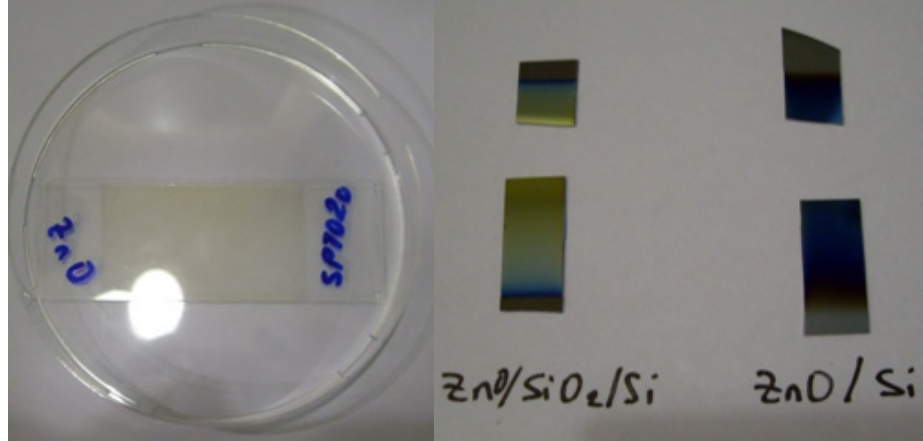


**Şekil 4.6.** Plazma oluşumu.

Yapılan deneylerde kullanılan altlıklar cam, Si ve Si/SiO<sub>2</sub> olarak seçilmiştir. Cam üzerine büyütülen film Şekil 4.8'den de görüleceği gibi ZnO'in şeffaf bir yarı iletken olduğu görülmektedir. Si ve SiO<sub>2</sub> üzerinde ise altlığın rengi olan metalik yüzey görülmektedir. Numunelerin hazırlanmasında SPT020 numaralı numune cam üzerine, SPT022a isimli numune Si üzerine, SPT022b isimli numune SiO<sub>2</sub>/Si üzerine büyütülmüştür. Büyütülen ZnO ince filme ait üretim parametrelerinin değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. SPT022a ve SPT022b numuneleri için ayrı ayrı fotoluminesans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yarıiletken bir malzeme olan ZnO'in optik karakterizasyonu için fotoluminesans tekniği kullanılmıştır.



**Şekil 4.7.** Plazmanın yakın görüntüsü.



**Şekil 4.8.** Cam, Si, SiO<sub>2</sub> altlık üzerine büyütülmüş ZnO ince film.

### 4.3. Üretilen ZnO İnce Filmin Optik Karakterizasyonu

Hazırlanan numuneler parçalara ayrılarak farklı tavlama işlemlerinden geçirildikten sonra fotoluminesans tekniği ile karakterizasyonu yapılmıştır. PL ölçümleri yapılmadan önce hazırlanmış ZnO filmlerin numunelerin tavlama oksijen ve argon ortamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca numunenin büyütüldüğü ilk hali de referans ölçüm yapılmak üzere ayrılmıştır.



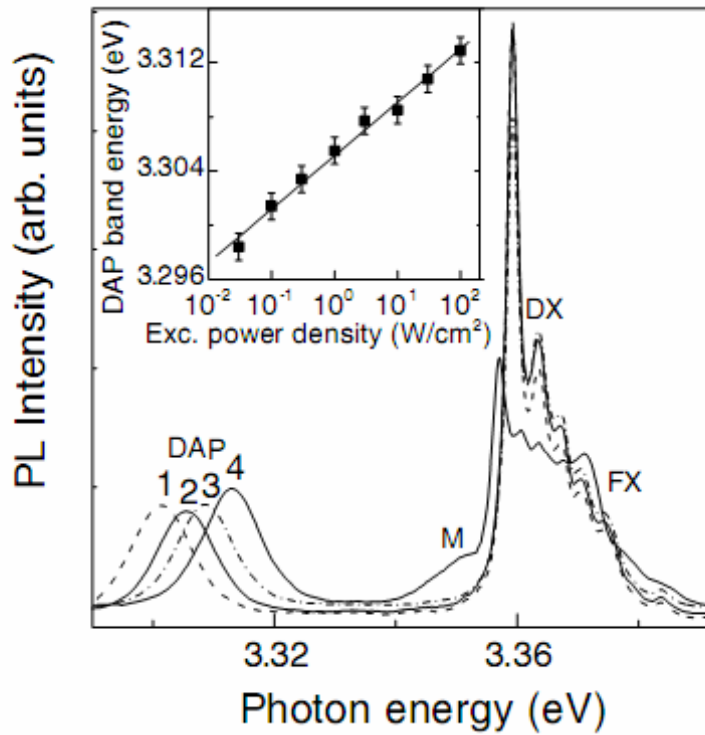
**Şekil 4.9.** Fotoluminesans ölçüm düzeneği.

PL ölçümleri bu üç farklı tipte numune serileri için ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca farklı tavlama sıcaklıkları kullanarak hazırlanan numunelerdeki değişiklikler

gözlemlenmiştir. Oksijen altındaki tavlama işlemi 550°C de 60 dakika olarak, argon altındaki tavlama ise 550°C de 30 dakika olarak gerçekleştirilmiştir. Fotoluminesans ölçümleri 300 K (oda sıcaklığında) sıcaklığında yapılmıştır.

#### 4.3.1. PL ölçümleri ve değerlendirmeler

Yapılan PL ölçümleri sonucunda elde edilen veriler incelenmiştir. Hiçbir işleme tabi tutulmadan ölçüme alınan numunelerde ZnO ince filmin yasak enerji aralığı olan 3.3 eV civarında pikler verdiği gözlenmiştir.

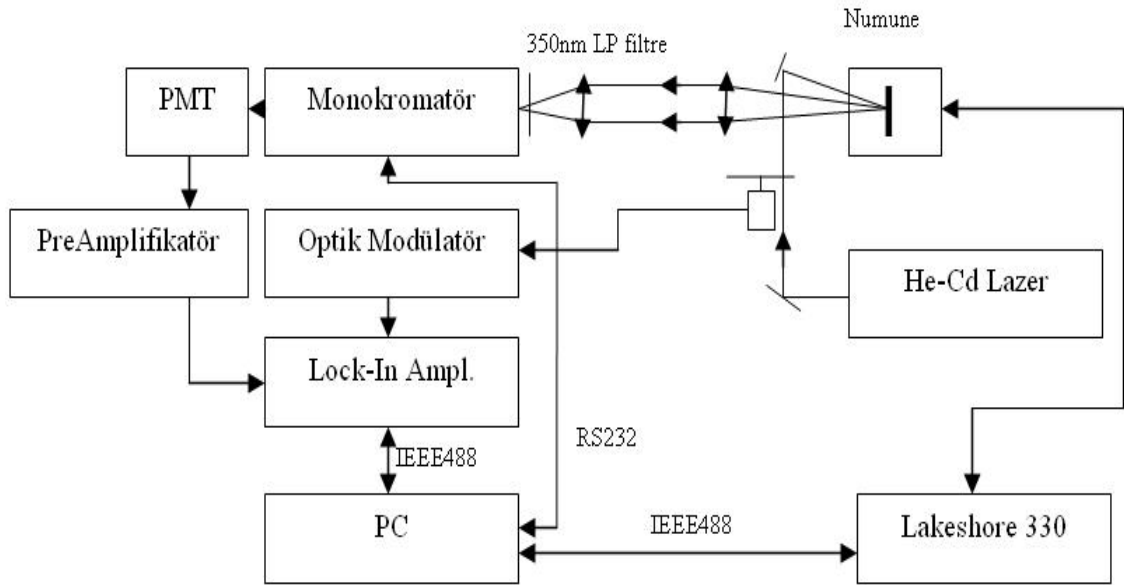


Şekil 4.10. ZnO' e ait bir ölçüm sonucu (Ursaki *et al.* 2004).

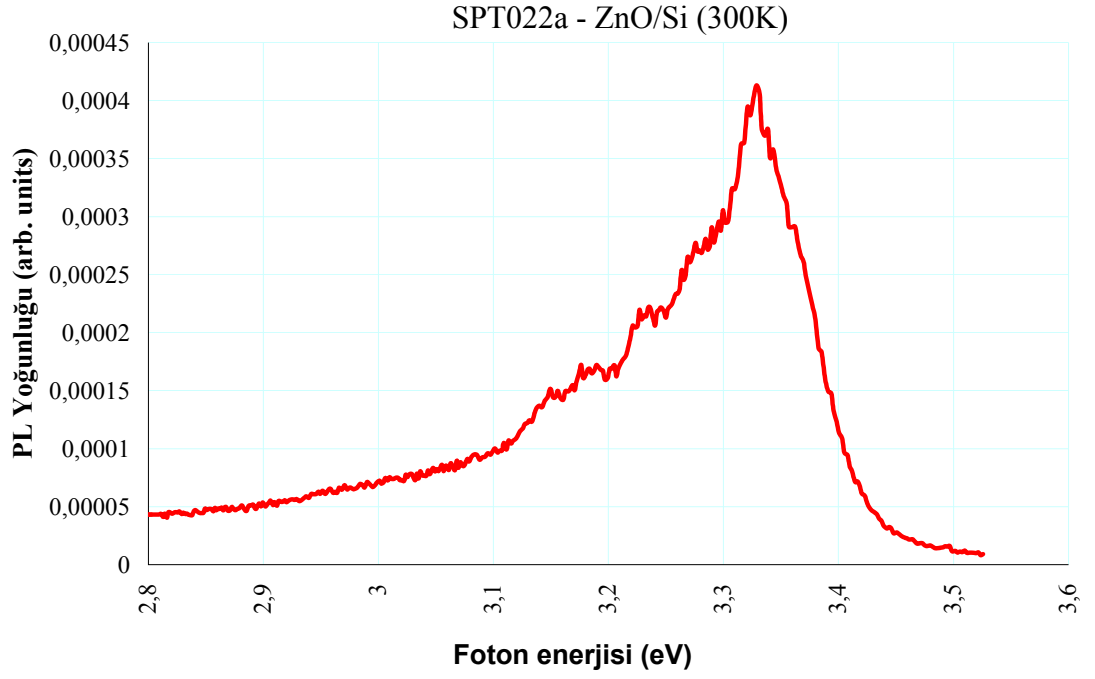
Ölçümler oda sıcaklığında ve film oluşturma parametreleri bu safhada optimize edilmediğinden FWHM (Full Width At Half Maximum) değeri küçük bir pik elde edilmemiştir. ZnO araştırmalarında da benzer piklerin elde edildiği Şekil 4.10'da görülmektedir.

Ölçümler 350 nm–500 nm arasındaki dalga boylarında gerçekleştirildi. Uyarıcı kaynak olarak HeCd lazerin ve 325 nm deki (30 mW) çizgisi kullanıldı. Şekil 4.11’de verilen PL sisteminin blok diyagramında Lock-in tekniği ile 25 cm odaklı ORIEL MS257 monokromatör, Stanford SR830 Lock-In amplifikatör ve Hamamatsu PMT-R6356-6 ışığın spektral olarak ölçümünde ana bileşenleri gösterilmiştir.

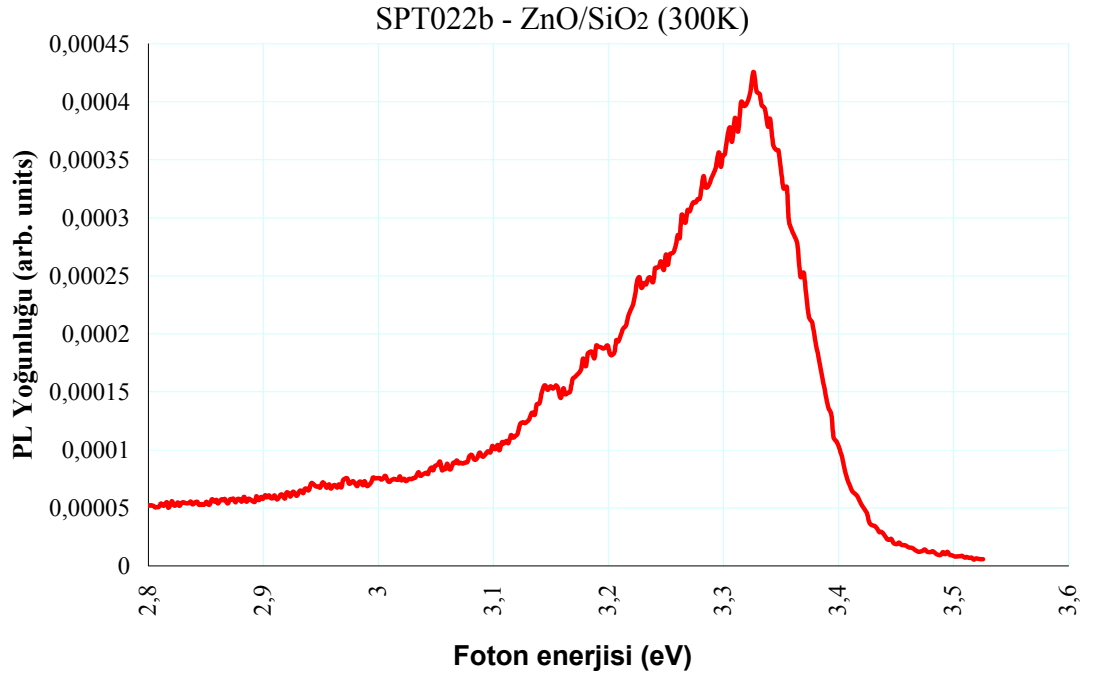
Şekil 4.12 ve 4.13’de reaktif magnetron sisteminde büyütülen ZnO numunelerine ait oda sıcaklığında alınmış PL spektrumları verilmiştir. Film optimizasyonu tam yapılmayan bu test numunelerindeki 3,31 eV da gözlenen pikin bağlı eksiton ve daha düşük enerji bölgesinde görülen ve çözülmemiş piklerin ise donör-akseptör çiftlerinden kaynaklandığı literatürden bilinmektedir (Pearton *et al.* 2004) ve (Tan *et al.* 2004).



Şekil 4.11. PL sistemi blok diyagramı.



Şekil 4.12. ZnO/Si ince film fotoluminesans ölçümleri (300 K).



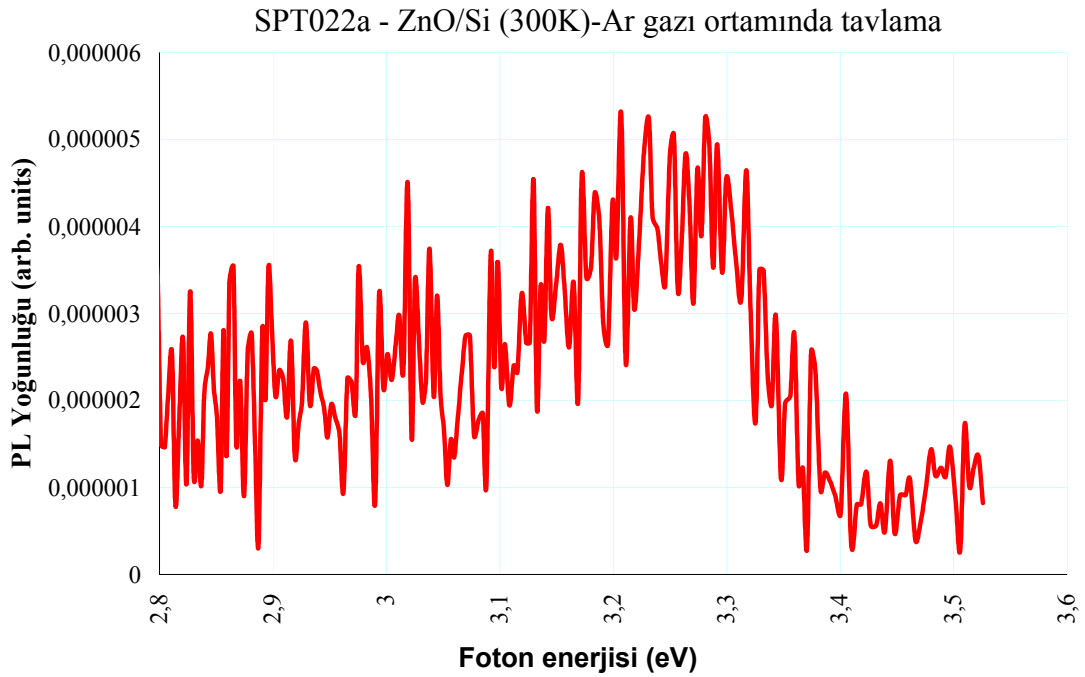
Şekil 4.13. ZnO/SiO<sub>2</sub> ince film fotoluminesans ölçümleri (300 K).



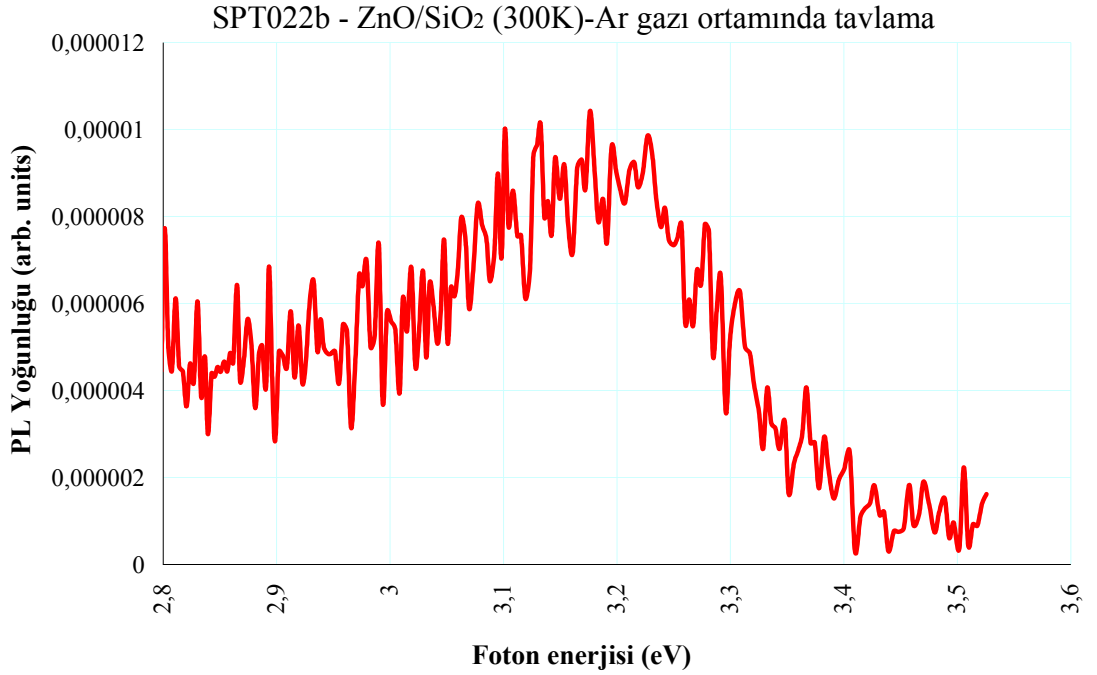
#### 4.3.2. Argon gazında tavllanmış numunelerde PL ölçümleri

İlk yapılan ölçümler herhangi bir işleminden geçmemiş olan SPT022a ve SPT022b adlı numuneler ile gerçekleştirilmiştir. Argon gazı altında  $550^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta 30 dakikalık ısıtılma tutulan (tavlanan) numunelerin ölçümleri yapılmıştır. Argon gazı altında tavllanmış numunelerin ölçümleri, hiçbir işleme maruz kalmayan ölçümlerle karşılaştırıldığında dikkate değer değişimler gözlenmiştir.

Özellikle Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de görülen, 3,3 eV’da oluşan pikler neredeyse kaybolmuştur. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de elde edilen PL ölçümleri ile ısıtılmanın ZnO ince filmlerin luminesansını olumsuz yönde etkilediği gözlenmektedir.



**Şekil 4.14.** ZnO/Si, Ar gazı ortamında 30 dakika  $550^{\circ}\text{C}$ 'de tavllanmış ince film fotoluminesans ölçümleri (300 K).

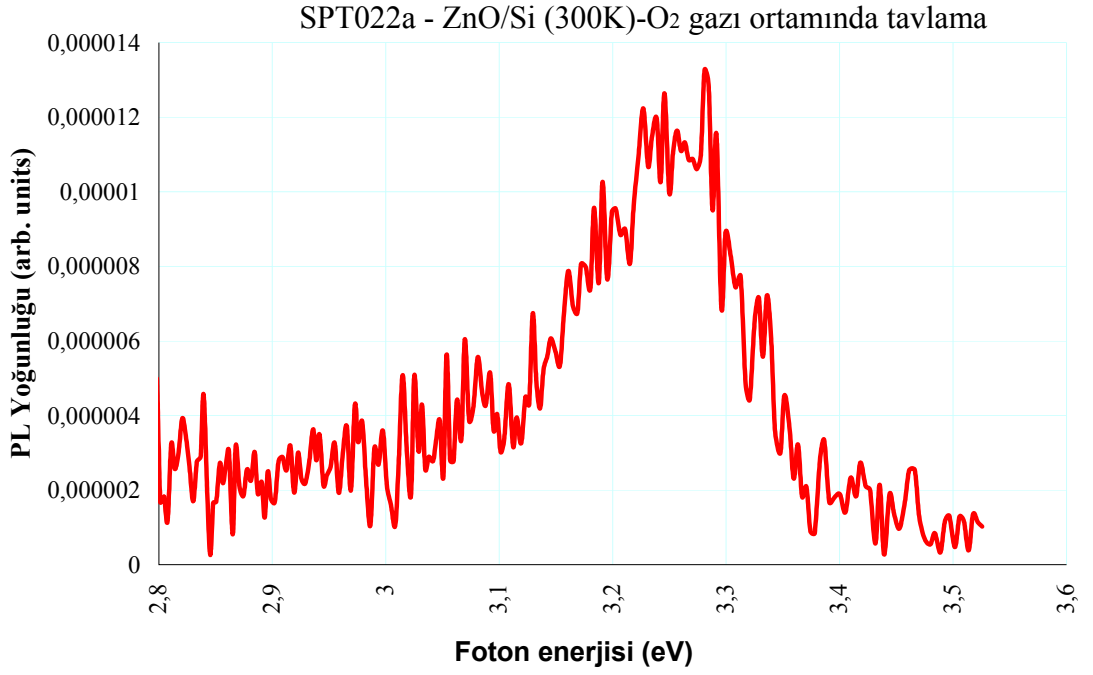


**Şekil 4.15.** ZnO/SiO<sub>2</sub> , Ar gazı ortamında 30 dakika 550°C’de tavllanmış ince film fotoluminesans ölçümleri (300 K).

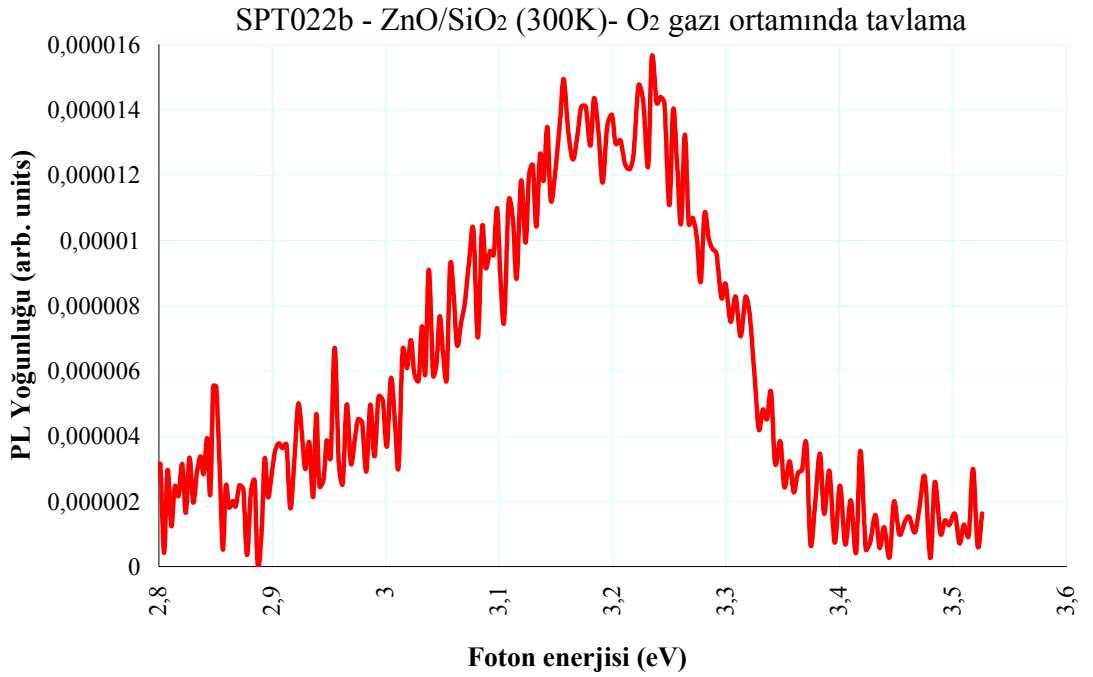
#### 4.3.3. Oksijen gazında tavllanmış numunelerin PL ölçümleri

Hiçbir işlem görmemiş olan numunelerin bir bölümü de oksijen gazı altında 550°C’de 60 dakikalık tavlama işlemi yapıldıktan sonra PL ölçümler alınmıştır. Oksijen gazı ortamında yapılan tavlama işleminden sonra elde edilen spektrum, işleminden geçmemiş olan numunelere göre pik değeri yaklaşık 3,24 eV ile bilinen ZnO yapısı için karakteristik serbest eksiton çizgisi bölgesinde olduğu görülmektedir. Bu çizgi ZnO’in tek kristal yapısına sahip olduğunun bir göstergesidir. Ancak pik şiddetinin düşük olması optimizasyon yönünden detaylı sistematik bir çalışmanın yapılması gerektiğini göstermektedir. Ar ortamında yapılan tavlamlar ile karşılaştırıldığında oksijen ortamında tavlamanın ZnO’in muhtemel kristal yapıda oluşumuna beklenen bir etki yaptığı söylenebilir (Şekil 4.16 ve Şekil 4.17).

Genel olarak bakıldığında Si ve SiO<sub>2</sub> üzerine yapılan uygulamalar arasında çok belirgin bir fark görülmemektedir.



**Şekil 4.16.** ZnO/Si, O<sub>2</sub> gazı ortamında 60 dakika 550°C’de tavllanmış ince film fotoluminesans ölçümleri (300 K).



**Şekil 4.17.** ZnO/SiO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> gazı ortamında 60 dakika 550°C’de tavllanmış ince film fotoluminesans ölçümleri (300 K).

## 5. SONUÇ

Yapılan bu tez çalışması sonucunda DC reaktif magnetron sıçratma sistemini çalıştıracak DC güç kaynağı tasarımı yapılmıştır. DC güç kaynağı, sistem gereksinimi olan yüksek gücü elde etmek amacıyla anahtarlamalı modda çalışan bir tasarımla üretildi. Güç kaynağında, akım-gerilim koruması ve güvenlik için çıkışının girişten tamamen yalıtılması özellikleri de bulunmaktadır. Tasarlanan ve üretilen güç kaynağının çalışma testleri gerçekleştirildikten sonra DC reaktif magnetron sıçratma sistemine gerekli enerjiyi sağlayabileceği yapılan test çalışmalarında görüldü. DC reaktif magnetron sıçratma sistemine bağlanan güç kaynağı ile plazma oluşmasını sağlayacak optimum gerilim-akım-basınç değerleri yapılan testler sonucunda belirlendi.

Sistemin en verimli çalışabileceği değerler belirlendikten sonra, tez çalışmasının diğer konusu olan ZnO ince film büyütme işlemi yapıldı. Çinko, çok yüksek vakum altında çalışan ince film büyütme teknikleriyle birlikte kullanımı sorunlu olduğundan, DC reaktif magnetron sıçratma tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Sahip olduğu elektriksel özelliklerinden dolayı, ZnO ince film büyütülmesi, halen araştırmalara konu olmaktadır. Özellikle oda sıcaklığında yüksek optik verimde lazer uygulamalarına uygunluğundan dolayı teknolojik öneme sahiptir.

Kullanılan DC reaktif magnetron sıçratma sistemiyle cam, Si, SiO<sub>2</sub>/Si altlık üzerine ince film biriktirmesi gerçekleştirildi. Cam üzerine büyütülen ZnO ince film sayesinde, ZnO'nin şeffaf bir yarıiletken olduğu görüldü. Si ve SiO<sub>2</sub>/Si altlık üzerine büyütülen ZnO ince filmin, PL tekniği ile optik karakterizasyonu yapıldı. Yapılan Ölçümlerden elde edilen verilerden, literatürde bulunan büyütülmüş ZnO ince filmlere ait karakterizasyon değerlerine yakın bir değer (~3,3 eV) elde edildiği görülmüştür. Yapılan güç kaynağı ve kullanılan DC reaktif magnetron sıçratma sisteminin verimli bir şekilde çalıştığı bu tez kapsamında ortaya konmuş olup, tasarımı yapılan güç kaynağı geliştirmeye açık ve yapılacak eklemelerle özellikleri güncellemeye müsaittir.

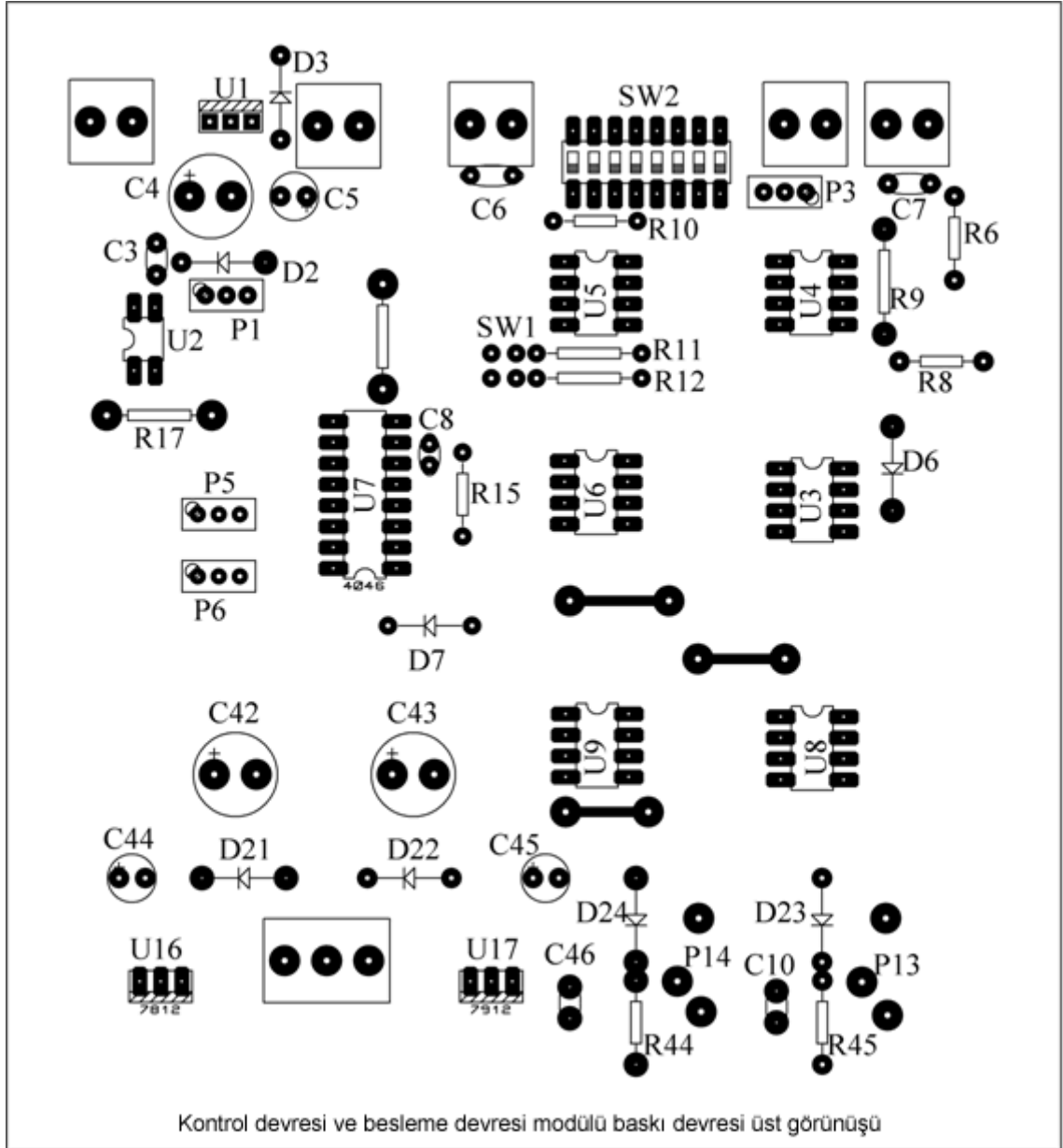
**KAYNAKLAR**

- Cansever,N., 2001. Manyetik Alanda Sıçratma Yönteminde Son Gelişmeler. Mühendis ve Makine, 496, İstanbul, 18-23.
- Dakai. H. and Qingchuan. C., 2005. Recent Developments and Applications in Unbalanced Magnetron Sputtering. Southwestern Institute of Physics Annual Report 2005. [www.swip.ac.cn/cfs/english/Information/2005nbe/y4.4.pdf](http://www.swip.ac.cn/cfs/english/Information/2005nbe/y4.4.pdf) (01.02.2009).
- Ellmer, K., 1999. Magnetron sputtering of transparent conductive zinc oxide: relation Between the sputtering parameters and the electronic properties, J.Phys.D:Appl.Phys., UK, 17-32.
- Erickson, R.W. and Maksimović, D., 2001. Fundamentals of Power Electronics. Springer Science+Busines Media. Inc., 883p, USA.
- Hanfmann, A.M., 1972. Sputtering:The User's Viewpoint. IEEE Transactionson Industry Applications, Vol.No.5(IA-8), 578-583.  
[http://www.ecm.auckland.ac.nz/course/cm201/424\\_Ch3G.pdf](http://www.ecm.auckland.ac.nz/course/cm201/424_Ch3G.pdf) (12.12.2008).  
<http://www.genco.com/1,29-Sputtering-fundamentals.htm> (16.10.2008).  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Wurtzite\\_\(crystal\\_structure\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Wurtzite_(crystal_structure))(07.02.2009).  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Zinc\\_oxide](http://en.wikipedia.org/wiki/Zinc_oxide)(07.02.2009).  
<http://kottan-labs.bgsu.edu/teaching/workshop2001/chapter6.htm>(15.02.2009).  
<http://cnx.org/content/m1011/latest/>(15.02.2009).
- Ilıcan, S., Yasemin ÇAĞLAR, Y. ve ÇAĞLAR, M., 2005. CdZnS ve ZnO Yarıiletken Filmlerinin Yasak Enerji Aralıkları. SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1), 48-54.  
[ia.physik.rwth-aachen.de/research/sputtering/www-sputter-eng.pdf](http://ia.physik.rwth-aachen.de/research/sputtering/www-sputter-eng.pdf) (20.10.2008).
- Özgür, Ü., Alivov, Y.I., Liu,C., Teke, A., Reshchikov, M.A., Doğan, S., Avrutin, V., Cho, S-J. and Morkoç, H., Applied Physics Reviews, Virginia Commonwealth University, Richmond, Virginia.
- Pauza, A., 2004. Change Media Change Media Materials Science of Phase Materials Science of Phase. Scientists Presentation to University of Cambridge Part IB Materials, [www.msm.cam.ac.uk/Teaching/mat1b/industrial-visit/plasmon-phase-change.pdf](http://www.msm.cam.ac.uk/Teaching/mat1b/industrial-visit/plasmon-phase-change.pdf) (11.12.2008).
- Pearton, S. J., Norton, D. P., Ip, K., Heo, Y. W., and Steiner, T., 2004. Recent advances in processing of ZnO. Journal Vacuum ScientificTechnology, 22(3), 932-948.
- Wolf, S. and Tauber, R.N., 1986. Silicon Processing for The VLSI ERA.Lattice Pres, 331-374, California, USA.
- Tan, S. T., Chen, B.J., Sun, X. W., and fun, W.J., 2005. Blue shift of optical band gap in ZnO thin films grown by metal-organic chemical-vapor deposition. Journal of Applied Physics, 98(1), 21-26.
- Taşan,S., 2005. Staj Raporu. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü.
- Türeci, R.G., 2001. Plazma Fiziğinde Magnetik Ayna Problemi ve Nötr Parçacık Transportu. Y.Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Ursaki, V. V., Tiginyanu, I. M., Zalamai, V. V., Masalov, V. M., Samarov, E. N., Emelchenko, G.A., Briones, F., 2004. Photoluminescence of ZnO layers grown on opals by chemical deposition from zinc nitrate solution, 1242(4), 851-854.

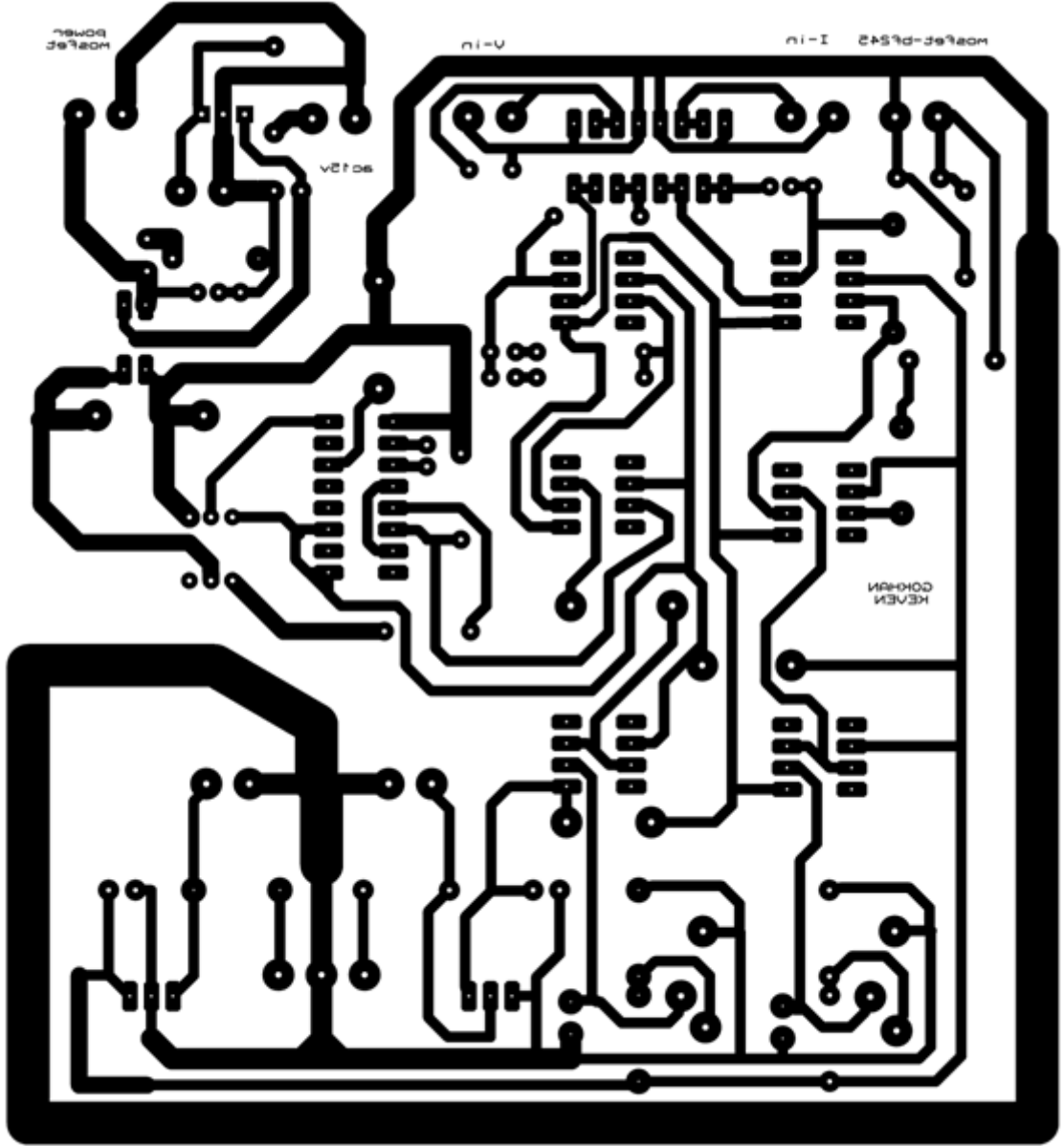
Yüksel, B. ve Ozkan, T. O., 2006. Molce % 0.5 ve % 2 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Katkısını ZnO'in Elektriksel Özelliklerine ve Mikroyapısına Etkisi. 13. Uluslararası Metalurji-Malzeme Kongresi ve fuarı, 13th International Metallurgy-Materials Congress and fair, İstanbul.

## EKLER

## EK 1



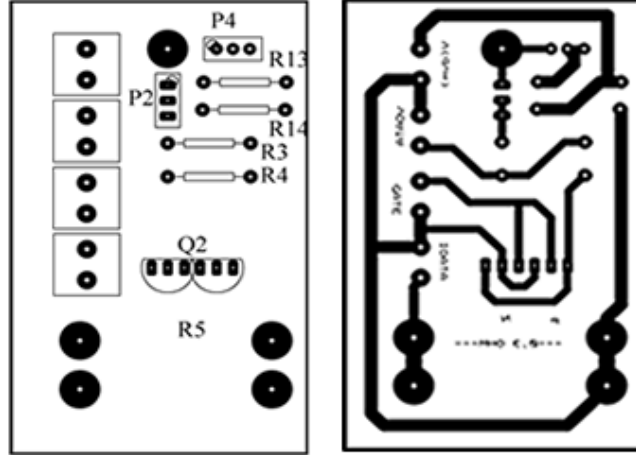
## EK 2



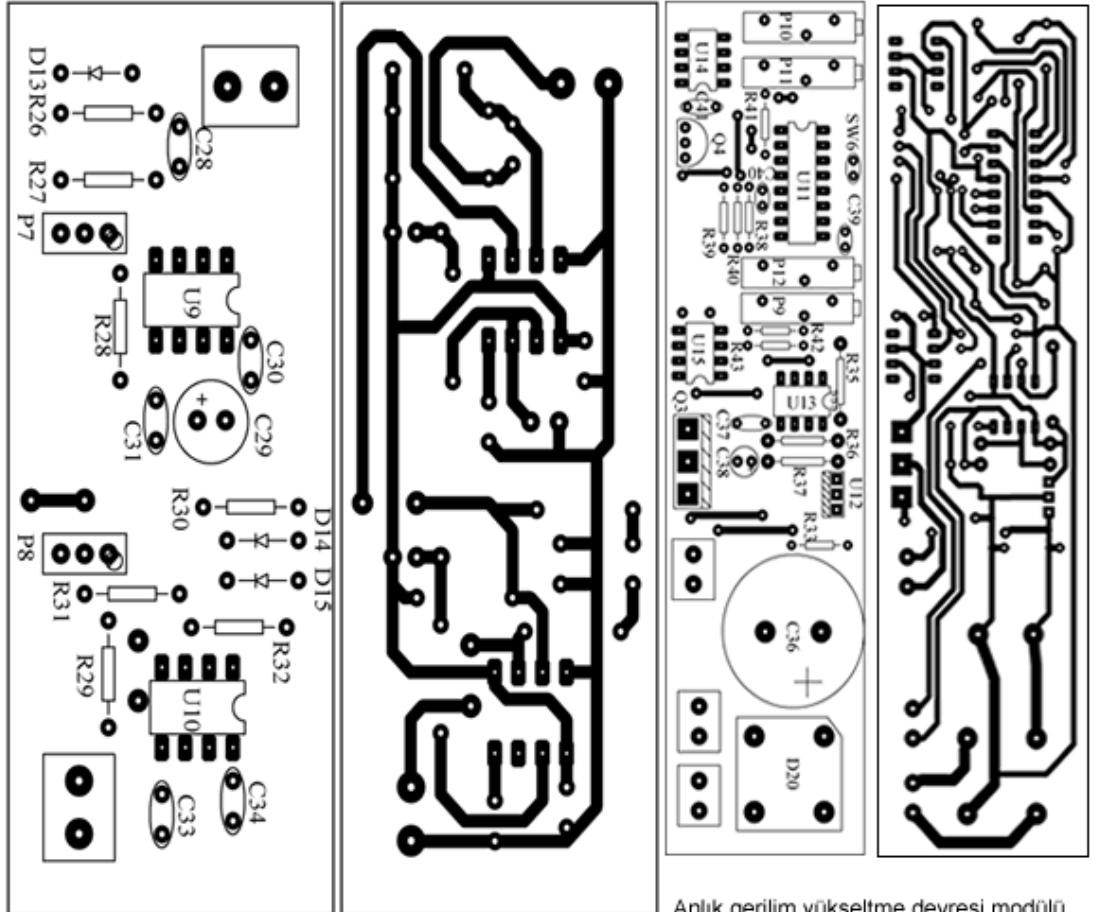
Kontrol devresi ve besleme devresi modülü baskı devresi alt görünüşü



## EK 3



Kontrol devresi gerilim örnekleme modülü baskı devresi alt ve üst görünüşü



Giriş tetikleme devresi modülü baskı devresi üst ve alt görünüşü

Anlık gerilim yükseltme devresi modülü baskı devresi üst ve alt görünüşü

**EK 4**

KODU	DEĚERĪ	KODU	DEĚERĪ
U3,U4,U5,U6,U18,U19	LF351	C2,C9	2pF/1KV
U9,U10,U13	NE555	C29,C32	1uF/50V
U12,U16	7812	C38,C39	1uF
U14,U15	LM741	C6	63nF
U11	XR2206	C7	22pF
U17	7912	C1	10uF/660V
U8	7805	C20	0,1uF
R4,R6,R14,R16, R26,R27, R29, R31, R41	10K	C27	540nF
R1,R22,R33,R34	1M	C36	47000uF/65V
R10,R11,R38	1K	C37	100nF
R19,R20,R21	47K	C40	2pF
R30,R32	1,5K	C41	6,8nF
R3,R13	1,5M	C10	330nF
R24,R25	330	D2,D6,D7	1N4148
R17,R35	820	D3,D11,D12,D16,D17,D18,D1 9,D21,D22	1N4007
R39,R40	5,6K	D13,D23,D24	Zener-10V
R44,R45	220	D1	VBO30-12
R7,R8	100	D4,D8,D9,D10	DSEI30-12A
R18	470	D14,D15	LED
R37	560	D20	KBPC810
R5	0,3/10W	Q1	IXFN24N100
R15	120K	Q2	J175
R42	15K	Q3	IRFP450
R36	2,2K	Q4	BC237
R43	22K	P1,P3,P6,	1K
R12	2K	P2,P4	500K
R2	3,5/30W	P5	100K
R23	330K	P7,P9	2M
R9	33K	P8,P12	50K
R28	470K	P10	500
C11,C12,C13,C14,C15, 16,C17,C18,C19	0,68 uF/400V	P11	25K
C4,C35,C23,C42,C43	1000uF/25V	P13,P14	10K
C3,C28,C46,C47	1nF	TR1	N1/N2=21/52
C30,C31,C33,C34	10nF	TR2	220V/15V
C24,C25,C26	5,5nF	TR3	N1/N2=3/32,
C5,C44,C45	10uF/16V	TR4,TR5,TR7	220V/2x 12V

## ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Adana'da doğdu. İlköğrenimini İstiklal Orta Okulunda, orta öğrenimini Adana Çukurova Elektrik Anadolu Meslek Lisesinde tamamladı.

1999 yılında üniversite sınavını kazanarak Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Öğretmenliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2003 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2004 Mart ayında Milli Eğitim Bakanlığına bağlı Erzurum Sabancı İlköğretim Okulunda Bilgisayar Öğretmeni olarak göreve başladı. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Elektronik Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2008 yılında Sinop ili Ayancık İlçesi Fatih Yatılı İlköğretim Bölge Okuluna tayin oldu. Halen adı geçen üniversite ve anabilim dalında yüksek lisans eğitimine devam etmekte ve Sinop ilinde öğretmenlik yapmaktadır.