



**MOS KAPASİTÖRÜN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE GAMA
RADYASYONUNUN ETKİLERİ**

Halil Mert BARAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2015

Halil Mert BARAN tarafından hazırlanan “MOS KAPASİTÖRÜN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE GAMA RADYASYONUNUN ETKİLERİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi FİZİK Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Adem TATAROĞLU

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan : Prof. Dr. Ş. Bora ALKAN

Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye : Prof. Dr. M. Mahir BÜLBÜL

Fizik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 23/01/2015

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Halil Mert BARAN

23.01.2015

MOS KAPASİTÖRÜN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE GAMA
RADYASYONUN ETKİLERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Halil Mert BARAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2015

ÖZET

Bu çalışmada, Au/SnO₂/n-Si (MOS) kapasitörün elektriksel özellikleri üzerine gama radyasyonun etkileri araştırıldı. MOS kapasitörün gama radyasyonundan önce ve sonra kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/ω-V) ölçümleri, sırasıyla 1 kHz - 1 MHz frekans ve 0-100 kGy radyasyon doz aralığında gerçekleştirildi. Deneysel sonuçlar kapasitörün kapasitans ve iletkenlik değerlerinin artan frekans ve radyasyon dozu ile azaldığını gösterdi. Ayrıca, arayüzey durumları (N_{ss}) ve seri direnç (R_s) değerleri bu ölçümler kullanılarak belirlendi. Seri direnç değerleri, radyasyonun oluşturduğu tuzak yüklerinin sonucu olarak artan radyasyon dozu ile artmaktadır. Arayüzey durumlarının değeri oksit-yarıiletken arayüzeyindeki rekombinasyon merkezlerinin sayısındaki azalma nedeniyle artan radyasyon dozu ile azalmaktadır. Elde edilen sonuçlar MOS kapasitörün elektriksel özelliklerinin gama radyasyonuna bağlı olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : 202.1.147

Anahtar Kelimeler : MOS kapasitör, Elektriksel Özellikler, Gama ışınları, Radyasyon etkileri

Sayfa Adedi : 35

Danışman : Doç. Dr. Adem TATAROĞLU

THE EFFECTS OF GAMMA RADIATION ON THE ELECTRICAL PROPERTIES OF
MOS CAPACITOR

(M. Sc. Thesis)

Halil Mert BARAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2015

ABSTRACT

In this work, the effects of gamma radiation on the electrical characteristics of metal-oxide-semiconductor (MOS) capacitors were investigated. The capacitance-voltage (C-V) and conductance-voltage (G/ ω -V) measurements of Au/SnO₂/n-Si (MOS) capacitor before and after exposure to gamma radiation were carried out in the frequency range of 1 kHz-1 MHz and in a total radiation dose range of 0-100 kGy, respectively. Experimental results show that capacitance and conductance values of the capacitor decrease with the increasing frequency and radiation dose. Also, the values of the interface states (N_{ss}) and series resistance (R_s) were determined by using these measurements. The values of series resistance increase with the increasing radiation dose as a result of radiation-generated trapped charges. The values of interface states decrease with the increase in radiation dose due to the decrease in the number of recombination centers at oxide/semiconductor. The obtained results indicate that the electrical characteristics of the MOS capacitor depend on gamma radiation.

Science Code : 202.1.147

Key Words : MOS capacitor, Electrical properties, Gamma rays, The effects of radiation

Page Number : 35

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Adem TATAROĞLU

TEŞEKKÜR

Tez yazım süresince benden desteklerini esirgemeyen değerli hocam Sn. Adem TATAROĞLU'na, manevi desteklerinden dolayı Ayça KARATAŞ'a, Babam Mustafa BARAN, Annem Nuray BARAN, Ablam Sinem BİNER ve Eniştem Alp BİNER'e teşekkür ederim. Deney süresince yardımlarını esirgemeyen başta Seda BENĞİ olmak üzere StarLab çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. METAL-OKSİT-YARIİLETKEN (MOS) YAPISI	3
2.1. İdeal MOS Yapısı.....	3
2.1.1. Yığılım	7
2.1.2. Tükenim	8
2.1.3. Tersinim	8
2.2. Gerçek MOS Yapısı	8
2.2.1. Arayüzey durumları	8
2.2.2. Sabit oksit ve arayüzey yükleri	9
2.2.3. Hareketli iyonik yük.....	9
2.2.4. Oksitte tuzaklanmış yük	9
2.3. İletkenlik Metodu İle Arayüzey Durum Yoğunluğunun Belirlenmesi.....	9
3. RADYASYONUN MOS YAPI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	11
3.1. Gama Işınları	12
3.2. Radyasyon Doz Birimleri	12
4. DENEYSEL YÖNTEM.....	13

	Sayfa
4.1. MOS Yapıların Hazırlanması	13
4.1.1. Kristal temizleme	13
4.1.2. Omik kontağın oluşturulması	13
4.1.3. Kalay dioksitin (SnO_2) oluşturulması	14
4.1.4. Doğrultucu kontağın oluşturulması	14
4.2. Kullanılan Elektriksel Ölçüm Düzeneği	15
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	17
5.1. Frekansa Bağlı Elektriksel Ölçümler	17
5.2. Radyasyona Bağlı Elektriksel Ölçümler	23
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	29
KAYNAKLAR	31
ÖZGEÇMİŞ	35

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. MOS kapasitörün hesaplanan arayüzey durumları ve zaman sabitleri	23

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bir MOS yapının şematik gösterimi	3
Şekil 2.2. $V=0$ durumunda ideal bir n-tipi MOS yapının enerji-bant diyagramı.....	4
Şekil 2.3. $V \neq 0$ durumunda MOS yapının enerji-bant diyagramı	4
Şekil 2.4. MOS yapının kapasitansının eşdeğer devre	6
Şekil 2.5. p-tipi MOS yapıda (a) Yığılım (b) Tükenim (c) Tersinim durumları için enerji-bant diyagramı.	7
Şekil 3.1. MOS kapasitörde iyonlaştırıcı radyasyon etkisiyle oluşan durumların şematik gösterimi	11
Şekil 4.1. Omik kontak oluşturulurken kullanılan bakır maske	13
Şekil 4.2. Doğrultucu kontak oluşturulurken kullanılan bakır maske.....	14
Şekil 4.3. Hazırlanan Au/SnO ₂ /n-Si (MOS) yapının şematik gösterimi.....	15
Şekil 4.4. Kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj ölçümleri için kullanılan düzenek.....	15
Şekil 5.1. Au/SnO ₂ /n-Si (MOS) kapasitörün farklı frekanslardaki (a-b) C_m -V ve (c-d) G_m/ω -V eğrileri	18
Şekil 5.2. MOS kapasitörün seri direncinin frekansa bağlı değişim eğrileri.	20
Şekil 5.3. Farklı doğru beslem gerilimleri için seri direncin frekansa bağlı değişim eğrileri	21
Şekil 5.4. MOS kapasitörün farklı doğru beslem gerilimlerinde G_p/ω 'nın frekansa bağlı değişim eğrileri.	22
Şekil 5.5. MOS kapasitörün radyasyondan önce ve sonraki C-V ve G/ω -V eğrileri.....	24
Şekil 5.6. MOS kapasitörün farklı radyasyon dozlarında çizilen R_s -V eğrileri	25
Şekil 5.7. MOS kapasitörün düzeltilmiş kapasitans ve iletkenlik eğrileri (a) C-V ve (b) G/ω -V	26
Şekil 5.8. MOS kapasitörün arayüzey durumları yoğunluğunun radyasyona bağlı değişim eğrisi	28

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A_{ox}	Oksit tabakanın alanı
d_{ox}	Oksit tabaka kalınlığı
C	Kapasitans
C_{ox}	Oksit tabakanın kapasitansı
C_{sc}	Uzay yükü kapasitansı
C_c	Düzeltilmiş kapasitans
G	İletkenlik
G_c	Düzeltilmiş iletkenlik
E_v	Valans bant kenarı enerjisi
E_c	İletkenlik bant kenarı enerjisi
E_F	Fermi enerjisi
E_g	Yarıiletken yasak enerji aralığı
ϵ_0	Boşluğun elektrik geçirgenliği
ϵ_{ox}	Oksit tabakanın dielektrik sabiti
N_{ss}	Arayüzey durum yoğunluğu
R_s	Seri direnç
V_{ox}	Oksit tabaka üzerine düşen gerilim
Y	Admittans
Z	Empedans
Φ_B	Potansiyel engel yüksekliği
Φ_s	Yarıiletkenin iş fonksiyonu
Φ_m	Metalin iş fonksiyonu
χ_s	Elektron yakınlığı
Ψ_s	Yüzey potansiyeli
W_D	Tüketim tabakasının kalınlığı

Kısaltmalar	Açıklama
a.c.	Alternatif akım
d.c.	Doğru akım
C-V	Kapasitans-voltaj
G/ω-V	İletkenlik-voltaj
MS	Metal/Yarıiletken
MIS	Metal/Yalıtkan/Yarıiletken
MOS	Metal/Oksit/Yarıiletken

1. GİRİŞ

Metal-oksit-yarıiletken (MOS) yapısı ilk defa Moll tarafından önerilmiştir [1]. Bu yapı termal olarak oksitlenmiş yarıiletken silisyum kristali üzerinde bir alüminyum metal elektrottan oluşmuştur. Daha sonra Terman; MOS kapasitörün oksit-silisyum arayüzeyinde bağ durumlarının özelliklerini araştırmıştır [2]. Terman, metal-oksit-yarıiletken (MOS) kapasitöre d.c. gerilim uygulayarak kapasitansın frekansa bağıllığını ölçmüştür. Daha sonra deneysel kapasitans-voltaj ile teorik kapasitans-voltaj verilerini karşılaştırmış ve termal olarak oksitlenmiş silisyum arayüzey tuzaklarının zaman sabitlerini elde etmiştir.

Metal ile yarıiletken arasındaki kalınlığı 100 Å 'dan büyük oksit tabakadan dolayı MOS yapılar paralel plakalı bir kondansatöre benzer. Kalın bir oksit tabakası metal ile yarıiletken arasında oluşacak bir sızıntı akımını önlemeye çalışır. MOS yapılarda, metal ve yarıiletken tabakaları birbirinden ayırmak için SiO₂, Si₃N₄, TiO₂, SnO₂ gibi yalıtkan oksit kullanılır. İdeal bir MOS yapısında oksit içerisinde ve yarıiletken ile birleşim yüzeyi arasında hiçbir şekilde boşluk yükü veya hareketli yük yoktur. Gerçek MOS yapıda oksit ve yarıiletken arayüzeyi hiçbir zaman elektriksel olarak nötr değildir. Doymamış bağlardan veya safsızlıklardan kaynaklanan oksit-yarıiletken arayüzeyindeki arayüzey durumları olarak belirtilen tuzaklanmış yükler ve oksidasyon sırasında yonteme bağılı olarak ortaya çıkan hareketli iyonlar, tuzaklar, sabit oksit ve arayüzey yüklerinin bulunması MOS yapısının elektriksel özelliklerini değiştirmekte, böylece MOS yapısının ideal özelliklerinden sapmasına neden olmaktadır [3-7]. Arayüzey durumları veya arayüzey tuzakları adı verilen enerji seviyelerinin mertebesi teorik olarak 10¹² eV⁻¹.cm⁻² civarında olması beklenirken deneysel sonuçlar bunların 10¹³ eV⁻¹.cm⁻² ile 10¹⁴ eV⁻¹.cm⁻² civarında olduğunu göstermiştir. MOS yapıların arayüzey durum yoğunluğunu ve seri direncini belirlemek için kullanılan metotlardan biri Nicollian ve Goetzberger tarafından geliştirilen iletkenlik metodudur [8,9]. Ayrıca, MOS yapıların elektriksel karakteristikleri arayüzey oksit tabakasının kalınlığı ve engel yüksekliğine de bağlıdır.

Radyasyon sırasında MOS yapının oksit tabaka içinde bulunan tuzaklar iyonize olur ve elektron-deşik çiftleri meydana gelir. Ayrıca, oksit/yarıiletken arayüzeyinde radyasyon etkisiyle oksit yükleri ve arayüzey durumları oluşmaktadır [10,11]. Bir yarıiletken yapının radyasyon soğurması sırasında meydana gelen elektron-deşik çiftlerinin sayısı yarıiletken

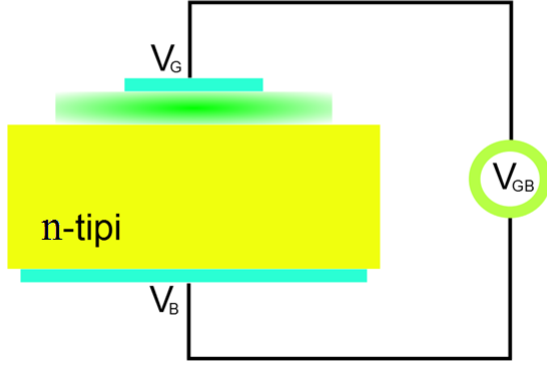
malzemenin ve soğurulan radyasyonun özelliklerine bağlıdır. İyonlaştırıcı radyasyon, etkileştiği maddede yüklü parçacıklar meydana getirebilen radyasyon demektir. Başlıca iyonlaştırıcı radyasyonlar, alfa ve beta parçacığı, gama ve x-ışınları ve nötronlardır.

MOS yapıların temel elektriksel özellikleri frekansa, sıcaklığa ve radyasyona bağlı kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/ω -V) ölçümleri ile belirlenmektedir. Bu çalışmada, Au/SnO₂/n-Si (MOS) kapasitörün elektriksel ölçümleri geniş bir frekans ve radyasyon aralığında gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlerden MOS kapasitörün arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}), ve zaman sabitleri, seri direnç (R_s) gibi elektriksel parametreleri hesaplanarak frekans ve radyasyon bağımlılıkları incelenmiştir. Bu tez çalışması, metal-oksit-yarıiletken (MOS) yapının teorik bilgisini, radyasyon etkilerini, deneysel yöntemi, deneysel sonuçlarla ilgili grafikleri ve bu sonuçların tartışmasını içermektedir.

2. METAL-OKSİT-YARIİLETKEN (MOS) YAPISI

Metal-Oksit-Yarıiletken yapısı MOS olarak adlandırılır. Şekil 2.1’de MOS yapının şematik gösterimi verilmiştir. Bu yapıdaki oksit tabakasının dielektrik özelliğinden dolayı MOS yapılar, levhalardan birisinin metal, diğerinin yarıiletken olmasından dolayı paralel levhalı bir kondansatöre benzer [4,5]. Burada V_G metal plakaya uygulanan gerilimdir. V_G gerilimi, metal plaka omik kontağa göre pozitif yönde bir gerilim ile beslendiğinde pozitif, negatif yönde bir gerilim ile beslendiğinde negatiftir. Bu yapının özellikleri paralel levhalı kondansatördeki oksit ve oksit-yarıiletken arayüzey özellikleri tarafından belirlenmektedir.

n - tipi MOS METAL - OKSİT - YARIİLETKEN



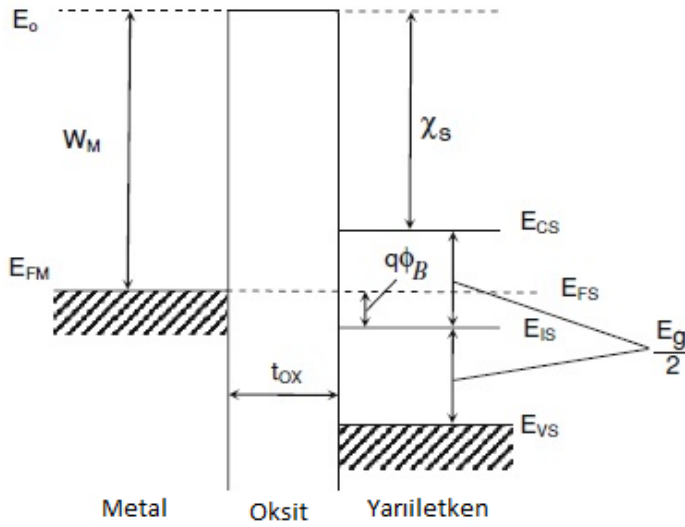
Şekil 2.1. Bir MOS yapının şematik gösterimi

2.1. İdeal MOS Yapısı

İdeal MOS bir yapının, $V=0$ durumunda enerji-bant diyagramı Şekil 2.2’de gösterilmiştir. İdeal bir MOS yapının, sıfır beslem durumunda metalin iş fonksiyonu ϕ_m ve yarıiletkenin iş fonksiyonu ϕ_s arasındaki fark sıfırdır ve n-tipi yarıiletken için aşağıdaki eşitlik ile verilir [4,5,12,13].

$$\phi_{ms} = \phi_m - \left(\chi + \frac{E_g}{2q} - \psi_B \right) = 0 \quad (2.1)$$

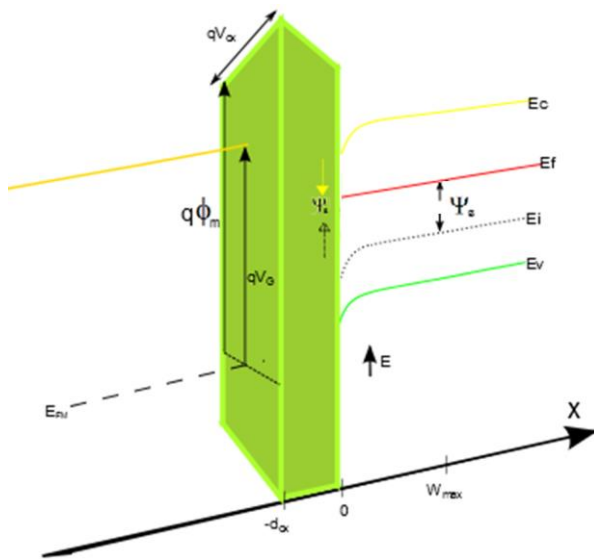
Burada χ yarıiletken elektron yakınlığı, E_g yasak enerji aralığı ve ψ_B ise Fermi enerji seviyesi E_F ile saf enerji seviyesi E_i arasındaki enerji farkıdır.



Şekil 2.2. $V=0$ durumunda ideal bir n-tipi MOS yapının enerji-bant diyagramı

Ayrıca, ideal bir MOS yapıda, oksit içinde ve oksit-yarıiletken arayüzeyinde tuzaklar, sabit ve hareketli iyonlar bulunmaz. Aynı zamanda oksit-yarıiletken arayüzeyinde arayüzey durumları ve arayüzey yükleri de bulunmaz. İdeal bir MOS yapıda, d.c. beslem şartları altında yalıtkan oksite doğru taşıyıcı geçişi yoktur yani oksitin öz direnci sonsuzdur.

$V \neq 0$ durumunda MOS yapının enerji-bant diyagramı Şekil 2.3’de şematik olarak gösterilmiştir. İdeal bir MOS yapıda, metal elektroda yani doğrultucu kontağa bir gerilim uygulandığında yarıiletkende yük kaymaları oluşur.



Şekil 2.3. $V \neq 0$ durumunda MOS yapının enerji-bant diyagramı

Yarıiletkenle metale göre serbest olmayan yükler bulunduğu için uygulanan gerilime bağlı olarak yük, ya uzay yükü bölgesinde ya da arayüzey bölgesinde yığılmalara neden olur. Yarıiletkenledeki serbest hareketli yük yoğunluğu metaldekine göre daha azdır ve uygulanan gerilime bağlı olarak değişir. Uygulanan V_G geriliminin bir bölümü yarıiletken üzerine bir kısmı da yalıtkan oksit tabakası üzerine düşer.

$$V_G = V_{ox} + \psi_s \quad (2.2)$$

Burada, V_{ox} oksit üzerine düşen gerilim, ψ_s arayüzeydeki bant gerilimidir. Uygulanan gerilime bağlı olarak yarıiletken arayüzey bölgesinde bantların bükülmesine neden olan uzay yükü Q_{sc} oluşur.

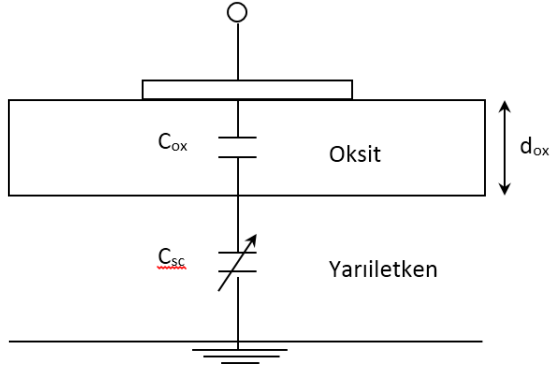
MOS yapıdaki yalıtkan oksit tabakadan dolayı metal ve yarıiletken arasında bir kapasitans oluşur. Bu kapasitans MOS kapasitansı olarak adlandırılır. MOS yapının kapasitansı C , oksit tabakanın kapasitansı C_{ox} ve uzay yükü kapasitansı C_{sc} aşağıdaki eşitlikler ile ifade edilir.

$$C = \frac{dQ_m}{dV_G} A_{ox} \quad (2.3a)$$

$$C_{ox} = \frac{dQ_m}{dV_{ox}} A_{ox} \quad (2.3b)$$

$$C_{sc} = \frac{dQ_{sc}}{d\psi_s} A_{ox} \quad (2.3c)$$

Bir MOS yapının kapasitansının eşdeğer devresi Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. MOS yapının kapasitansının eşdeğer devresi

Şekil 2.4’teki eşdeğer devrenin çözümünde MOS kapasitansı aşağıdaki eşitlik ile verilir.

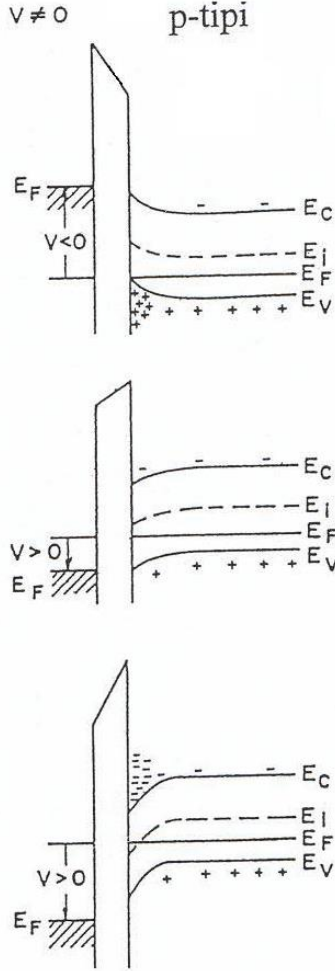
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{sc}} + \frac{1}{C_{ox}} \quad (2.4)$$

Buna göre MOS yapısının eşdeğer kapasitansı, C_{sc} ve C_{ox} kapasitanslarının seri bağlanmasına eşdeğerdir. Oksit kapasitansı C_{ox} ,

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_{ox}}{d_{ox}} A_{ox} \quad (2.5)$$

bağıntısı ile verilir ve oksit kapasitansı uygulanan gerilimle değişmez. MOS yapısının kapasitansındaki değişimi sadece uzay yükü kapasitansı belirler.

p-tipi bir MOS yapıda metal plakaya uygulanan gerileme bağı olarak meydana gelen durumların enerji-bant diyagramı Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. p-tipi MOS yapıda (a) Yığılım (b) Tükenim (c) Tersinim durumları için enerji-bant diyagramı.

2.1.1. Yığılım

Metal plakaya negatif gerilim ($V_G < 0$) uygulandığında, oluşan elektrik alan yarıiletkenin çoğunluk yük taşıyıcısı olan deşikleri yarıiletken arayüzeyine doğru çeker ve Fermi enerji seviyesi yarıiletkende sabit kalır. Valans bandının yarıiletken arayüzeyinde Fermi seviyesine yaklaştığı iletkenlik bandının da buna bağlı olarak yukarı doğru büküldüğü durumda, çoğunluk yük taşıyıcıları arayüzeyde birikir. Arayüzeyde biriken yük, yüzey yüküdür. Bu durum “yığılım” olarak adlandırılır (Şekil 2.5a).

2.1.2. Tükenim

Küçük bir pozitif gerilim ($V_G > 0$) uygulandığında, oksit içinde oluşan elektrik alan yarıiletken arayüzeyindekideşikleri yüzeyden uzaklaştırır. Bu durumda, iletkenlik bandının yarıiletken yüzeyine yakın bölgelerinde, elektronlar toplanmaya başlar. Yarıiletken yüzeyinde, uygulanan gerilimle değişendeşiklerin azaldığı bir tükenim bölgesi meydana gelir. Bu olaya ise “tükenim” olayı denir (Şekil 2.5b).

2.1.3. Tersinim

Daha büyük bir pozitif gerilim ($V_G \gg 0$) olacak şekilde uygulandığında, bantlar aşağı doğru bükülür. Bu durumda, yarıiletken yüzeyinde azınlık taşıyıcılar olan elektronlar artmaya başlar. Elektron yoğunluğudeşik yoğunluğundan büyük olur. Bu aşamadan sonra p-tipi yarıiletken yüzeyi n-tipi yarıiletken gibi davranır. Bu olay, yarıiletken yüzeyinin tersinimi olarak tanımlanır (Şekil 2.5c).

2.2. Gerçek MOS Yapısı

İdeal olmayan yani gerçek MOS yapıda oksit ve yarıiletken arayüzeyi hiçbir zaman elektriksel olarak nötr değildir. MOS yapının yalıtkan-yarıiletken arayüzeyindeki arayüzey durumları, oksidasyon sırasında yönteme bağlı olarak ortaya çıkan, hareketli iyonlar, tuzaklar, sabit oksit ve arayüzey yükleri, bu yapının ideal özelliklerinden sapmasına neden olurlar [4,5].

2.2.1. Arayüzey durumları

Oksit/yarıiletken arayüzeyinde yasak bant aralığı içindeki girilebilir enerji seviyeleri arayüzey durumları olarak adlandırılır. Arayüzey tuzaklarındaki yükün değişimi, arayüzey tuzakları iletkenlik bandı ve valans bandı ile yük alışverişi yapmasıyla meydana gelir. Bu yükün değişimi MOS yapının kapasitansına katkıda bulunur. Ayrıca, arayüzey durumları uzay yükü kapasitansına paralel kapasitans ve seri direnç etkisinde bulunurlar.

2.2.2. Sabit oksit ve arayüzey yükleri

Sabit oksit yükleri oksit/yarıiletken arayüzeyinde lokalize olurlar. Uygulama geriliminin negatif değerlerine doğru C-V eğrisinin kaymasına pozitif sabit oksit yükleri, C-V eğrisinin ileri pozitif uygulama gerilimine doğru kaymasına da negatif sabit oksit yükleri neden olurlar.

2.2.3. Hareketli iyonik yük

Hareketli iyonik yükler, ya metal/oksit arayüzeyinde yada yarıiletken/oksit arayüzeyinde lokalize olurlar. Hareketli iyonlar genellikle Na^+ , K^+ , Li^+ , H^+ , H_3O^+ iyonlarıdır. Hareketli iyonlar, kullanılan kimyasal maddelerin bu iyonları ihtiva etmesi, mekanik parlatma esnasında çıplak elle temaslar, oksitleme fırını, kuartz tutucuların kirli olması ve oksitleme gazlarında bulunan safsızlıklar gibi nedenlerden dolayı oluşurlar. Bu yükler uygulanan elektrik alan altında hareket ettiklerinden MOS yapının ideal özelliklerinden sapmasına neden olurlar.

2.2.4. Oksitte tuzaklanmış yük

Kimyasal yapı bozukluklarından ve radyasyondan kaynaklanan bu tuzaklar oksit içinde bulunurlar. Yarıiletken arayüzeyi ile yük alışverişi yaparlar. Böylece oksit ve oksit/yarıiletken arayüzeyinde ilave bir yük oluştururlar. İyonlaştırıcı radyasyon ile oksit tabakasında elektron-deşik çiftleri meydana gelmişse, bu elektron ve deşiklerin bir kısmı sonradan oksitte tuzaklanabilir. Bu tuzaklar MOS yapının kapasitans-voltaj eğrisinde değişime neden olurlar.

2.3. İletkenlik Metodu İle Arayüzey Durum Yoğunluğunun Belirlenmesi

İletkenlik metodunda farklı frekanslarda metal elektroda uygulanan gerilimi değiştirmek suretiyle kapasitans (C) ve iletkenlik (G) değerleri elde edilir. Bu metotla $10^9 \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$ ve daha düşük arayüzey tuzak yoğunlukları ölçülebilir. Bu metoda göre paralel kapasitans (C_p) ve paralel iletkenlik (G_p) aşağıdaki eşitliklerle verilir [9,14,15].

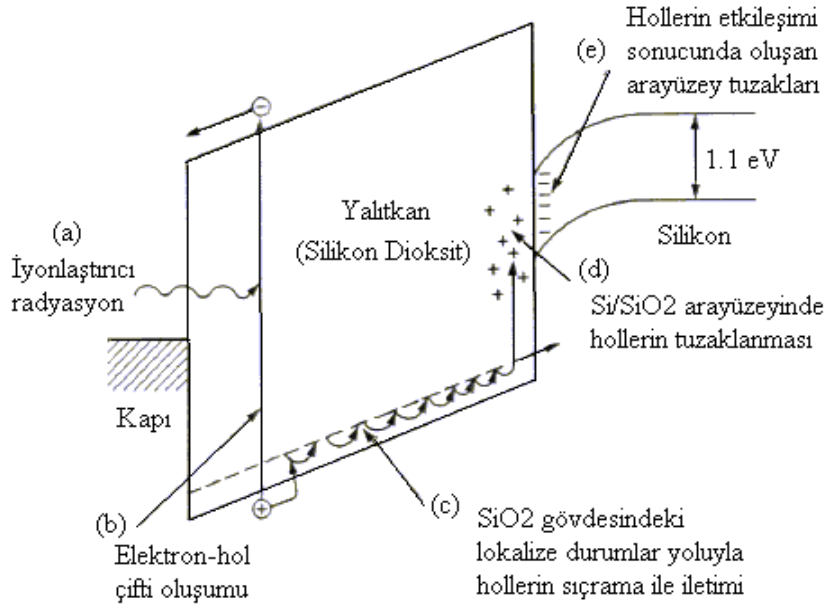
$$\frac{C_p}{C_{ox}} = \frac{1 - \frac{C}{C_{ox}}}{\left(1 - \frac{C}{C_{ox}}\right)^2 + \left(\frac{G}{\omega C_{ox}}\right)^2} - 1 \quad (2.6)$$

$$\frac{G_p}{\omega C_{ox}} = \frac{\frac{G}{\omega C_{ox}}}{\left(1 - \frac{C}{C_{ox}}\right)^2 + \left(\frac{G}{\omega C_{ox}}\right)^2} \quad (2.7)$$

$G_p/\omega C_{ox}$ - ω eğrisi logaritmik ölçekte çizilir ve $\omega\tau = 1$ durumunda, eğri bir maksimumdan geçer. Eğrinin maksimumundan yararlanarak arayüzey durum yoğunluğu elde edilir.

3. RADYASYONUN MOS YAPI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Metal-oksit-yarıiletken (MOS) kapasitörün iyonlaştırıcı radyasyona en duyarlı kısmı oksit tabakasıdır. MOS kapasitörde iyonlaştırıcı radyasyon etkisiyle oluşan durumlar Şekil 3.1’de gösterilmiştir [16-18]. MOS kapasitöre iyonlaştırıcı bir parçacık geldiğinde elektron-deşik çiftleri oluşur (durum: a). Materyal küçük dirençli olduğunda kapıdaki (metal veya polisilikon) elektron-deşik çiftleri hızlı bir şekilde kaybolur. Oksit içindeki tamamiyle farklı büyüklükteki mobiliteye sahip olan elektronlar ve deşikler farklı davranışlar sergilerler [21]. Radyasyon etkisi ile oluşan elektron-deşik çiftlerinin bir kısmı oluşturulduktan sonra tekrar birleşirler. Birleşmeyen elektron-deşik çiftleri oksit içindeki elektrik alan etkisiyle birbirinden ayrılırlar (durum: b). Örneğin girişe uygulanan bir pozitif ön gerilim durumunda elektronlar çok kısa bir zamanda (10^{-12} s) girişe ulaşmalarına rağmen, deşikler SiO₂-Si arayüzeyine doğru hareket ederler (durum: c). Arayüze yakın ancak halen oksitte bir sabit pozitif yük verebilen deşiklerin bir kısmı da tuzaklanabilir (durum: d). İyonlaştırıcı radyasyon etkisiyle oksit-yarıiletken(SiO₂-Si) arayüzeyinde, arayüzey tuzakları meydana gelir (durum: e).



Şekil 3.1. MOS kapasitörde iyonlaştırıcı radyasyon etkisiyle oluşan durumların şematik gösterimi.

Radyasyon etkisiyle oluşan elektronlardeşiklerden daha hareketlidir. Pozitif yüklüdeşikler hareketsiz ve oksit içerisinde tuzaklanmış olabilir. Diğerleri, oksit/yarıiletken arayüzeyinde hareket ederek burada arayüzey tuzakların oluşumuna sebep olurlar. Ayrıca iyonlaştırıcı radyasyon, yarıiletkenin tükenim bölgesinde elektron-deşik çiftleri oluşumuna sebep olur. Elektronlar arayüzeye doğru,deşikler ise tükenim bölgesindeki mevcut alan altındaki gövdeye doğru ilerlerler. Arayüzey yakınında biriken fazlalık elektronlar arayüzey potansiyelinde azalmaya neden olurlar [19]. İyonlaştırıcı radyasyon, oksit içinde tuzaklanmış yüklerin ve oksit/yarıiletken arayüzeyinde arayüzey tuzaklarının sayısında artışa neden olur. Ayrıca, radyasyon formundaki fotonlar ve parçacıklar elektronik aygıtlar üzerinde iyonlaştırıcı etki ve yerdeğıştirme hasarı olmak üzere iki farklı etki meydana getirebilir. Yani, yüksek enerjili parçacık madde ile etkileştiğinde enerjinin bir kısmı iyonlaşma süreci ve diğer kısmı yerdeğıştirme hasarı tarafından tüketilir. Bu nedenle, radyasyon elektronik aygıtın elektriksel parametrelerini ve karakteristiklerini değıştirebilir [18,19].

3.1. Gama Işınları

Gama ışınları, elektromanyetik bir radyasyondur. Eğer alfa veya beta bozunumu sonrasında ortaya çıkan çekirdek uyarılmış durumda ise, bir radyoaktif element gama ışınlarını yayınlanabilir. Gama ışını, bir çekirdeğin uyarılmış enerji seviyesinden temel enerji seviyesine düşerken yayınladığı foton olarak tanımlanır. Gama ışınları, alfa veya beta parçacıklarından daha çok derine nüfuz ederler. Gama ışınları, , kütlesiz ve yüksüz oldukları için elektrik ve manyetik alanda saptırılamazlar ve yüksek enerjilerinden dolayı madde içerisinde ışık hızı ile yayılırlar.

3.2. Radyasyon Doz Birimleri

İyonlaştırma için kullanılan enerji iyonize edici doz ve aygıt tarafından soğurulan enerji ise toplam iyonize dozu olarak adlandırılır. Radyasyon dozları genellikle rad birimi olarak hesaplanır. Rad, ışınlanan maddenin 1 kg'ına 10^{-4} joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Gray ise, ışınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır ve 1 Gy, 100 Rad'a eşittir.

4. DENEYSEL YÖNTEM

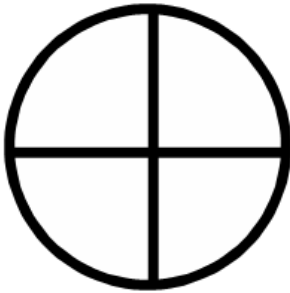
4.1. MOS Yapıların Hazırlanması

4.1.1. Kristal temizleme

Bu çalışmada, <111> yüzey yönelimli, 1-5 Ω .cm özdirençli, 280 μ m kalınlıklı fosfor katkılanmış n-tipi Si tek kristal kullanıldı. İdeal bir Metal-oksit-yarıiletken (MOS) kapasitör yapabilmek için yarıiletkenin organik ve metalik kirlerden temizlenmesi gerekir. Yarıiletken üzerindeki yüzey kusurlarını ortadan kaldırmak için Si kristal kimyasal temizlemeye tabi tutuldu. Kimyasal temizleme işlemi, kristal üzerindeki organik ve ağır metal kirlerini temizlemek ve yüzeydeki pürüzleri ortadan kaldırmak için ultrasonik banyoda yapıldı. Temizleme işleminde, direnci yaklaşık 18 M Ω olan deiyonize su kullanıldı. Yarıiletken yüzeyinde oksitlenmeyi önlemek kimyasal olarak temizlenmiş Si kristali kuru azot (N₂) ile kurulandı [3].

4.1.2 Omik kontağın oluşturulması

Kimyasal olarak temizlenen yarıiletken üzerine omik ve doğrultucu kontak oluşturmak için yüksek vakumlu metal buharlaştırma sistemi kullanıldı. Si yarıiletkenin mat yüzeyine omik kontak oluşturmak, kristal Şekil 4.1'de gösterilen bakır maske üzerine yerleştirilerek vakum ortamına alındı. Vakum $\approx 10^{-6}$ Torr'a ulaştığında, kimyasal olarak temizlenmiş %99,999'luk saflığa sahip altın metal parçacıkları buharlaştırılarak yarıiletkenin mat yüzeyi ≈ 2000 Å kalınlığında altın ile kaplandı. Daha sonra, mat yüzeye buharlaştırılan altın, vakum ortamında tavlansarak silisyum içerisine çöktürüldü.



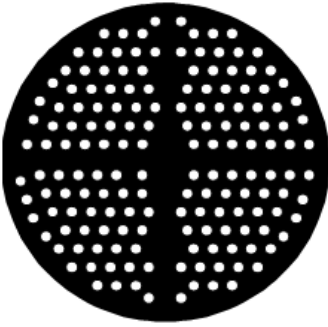
Şekil 4.1. Omik kontak için kullanılan maske

4.1.3. Kalay dioksitin (SnO_2) oluşturulması

Omik kontak oluşturulan Si kristalinin parlak üst yüzeyi üzerinde kalay dioksit (SnO_2) yalıtkan oksit tabaka oluşturmak için püskürtme yöntemi kullanıldı. Ağırlıkça %32,2 etil alkol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), %40,4 deiyonize su ve %27,4 kalay klorür ($\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) karışımı taşıyıcı kuru azot gazı (N_2) kullanılarak püskürtüldü. Si üzerine kalay dioksit püskürtüldüğü sırada alt tabaka sıcaklığı 400°C 'de tutuldu [3].

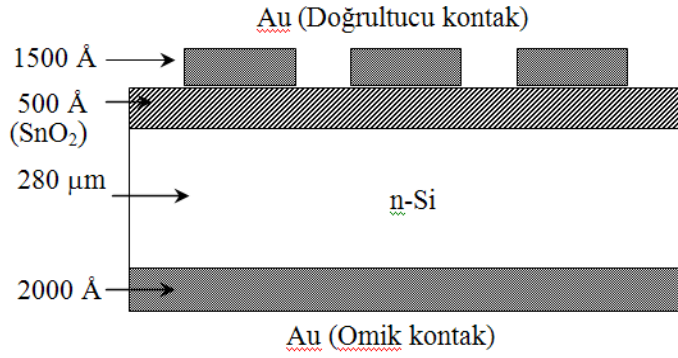
4.1.4. Doğrultucu kontağın oluşturulması

Doğrultucu kontak oluşturmak için Şekil 4.2'de gösterilen bakır maske kullanıldı. Üzeri kalay dioksit ile kaplanmış kristalin parlak yüzey aşağı gelecek şekilde bakır maske üzerine yerleştirildi. Vakum sisteminde $\approx 10^{-6}$ Torr basınç altında saf altın metal parçası buharlaştırılarak, kristalin parlak yüzeyine $\approx 1500 \text{ Å}$ kalınlığında altın doğrultucu kontaklar oluşturuldu. Böylece, doğrultucu kontağın oluşturulmasıyla $\text{Au/SnO}_2/\text{n-Si}$ (MOS) kapasitörler elde edildi.



Şekil 4.2. Doğrultucu kontak için kullanılan maske

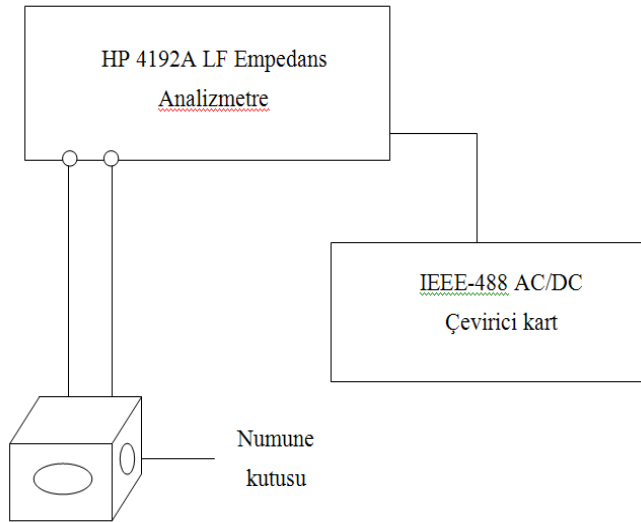
Daha sonra doğrultucu kontaklar üzerine gümüş pasta yardımıyla iletken teller tutturuldu ve MOS kapasitör elektriksel ölçümler için hazır hale getirildi. MOS kapasitörün şematik gösterimi Şekil 4.3'de verildi.



Şekil 4.3. Hazırlanan Au/SnO₂/n-Si (MOS) kapasitörün şematik gösterimi

4.2. Kullanılan Elektriksel Ölçüm Düzenegi

Hazırlanan MOS kapasitörün elektriksel (kapasitans ve iletkenlik) ölçümleri için, Packard 4192A LF Empedans Analizmetre (5 Hz-13 MHz) kullanıldı. Ayrıca tüm ölçümler bilgisayara takılan bir IEEE-488 AC/DC çevirici kart yardımıyla kumanda edilerek gerçekleştirildi. Kapasitans ve iletkenlik ölçümlerinin yapıldığı düzenek Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



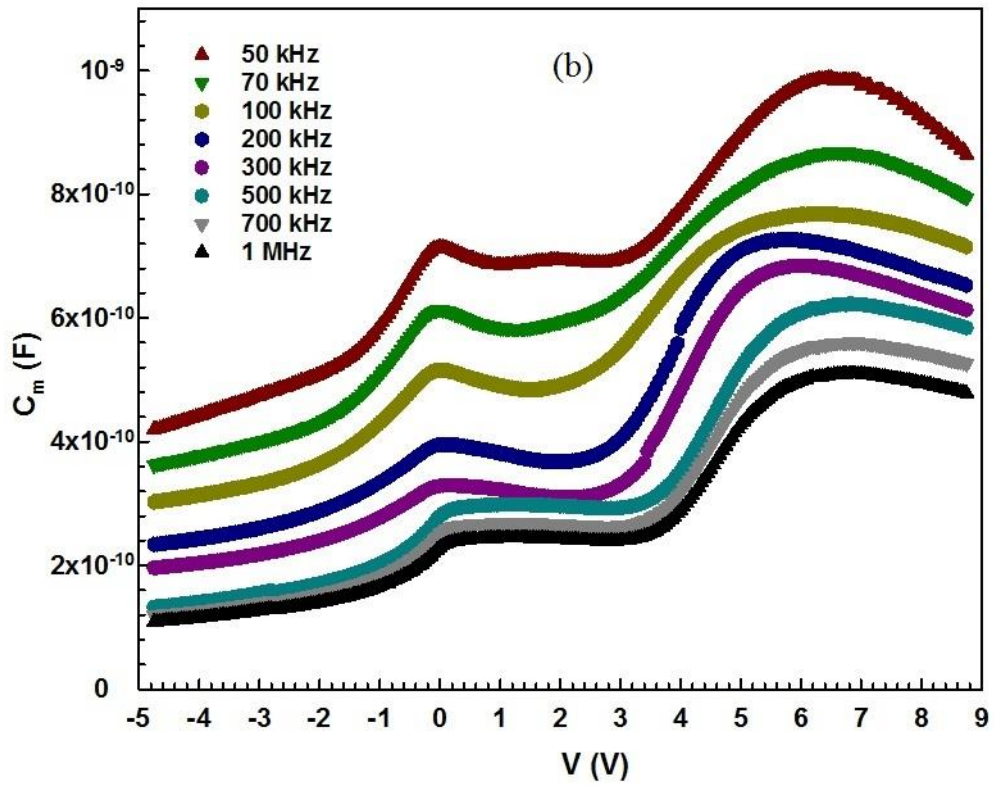
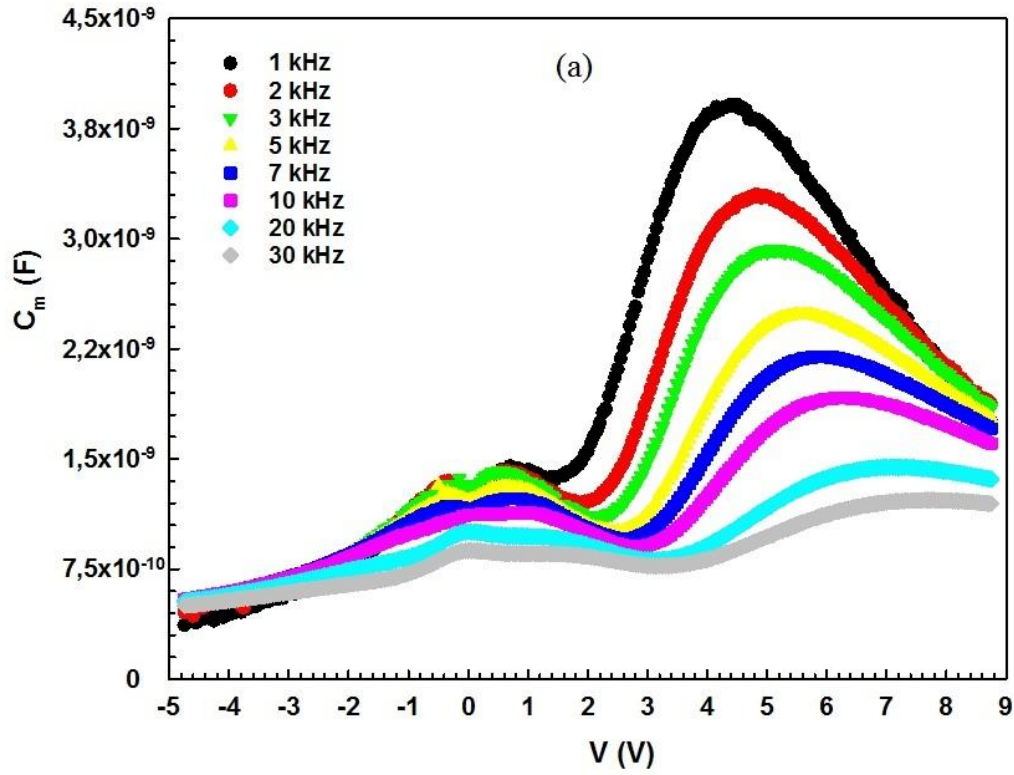
Şekil 4.4. Kapasitans ve iletkenlik ölçümleri için kullanılan düzenek

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

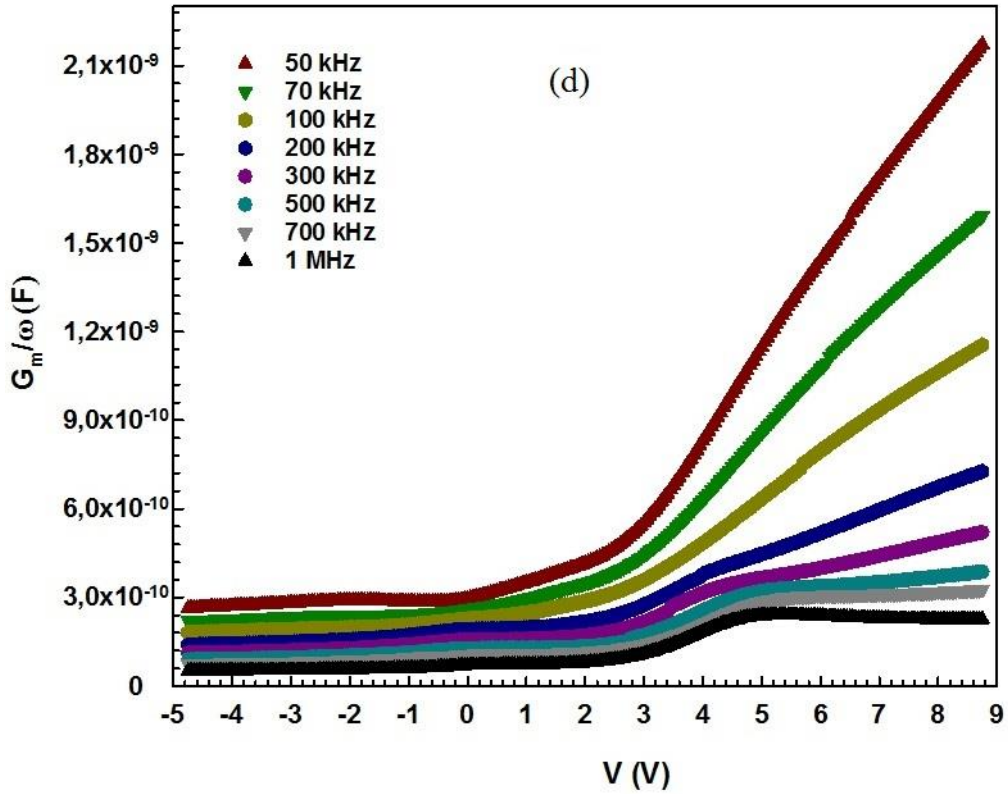
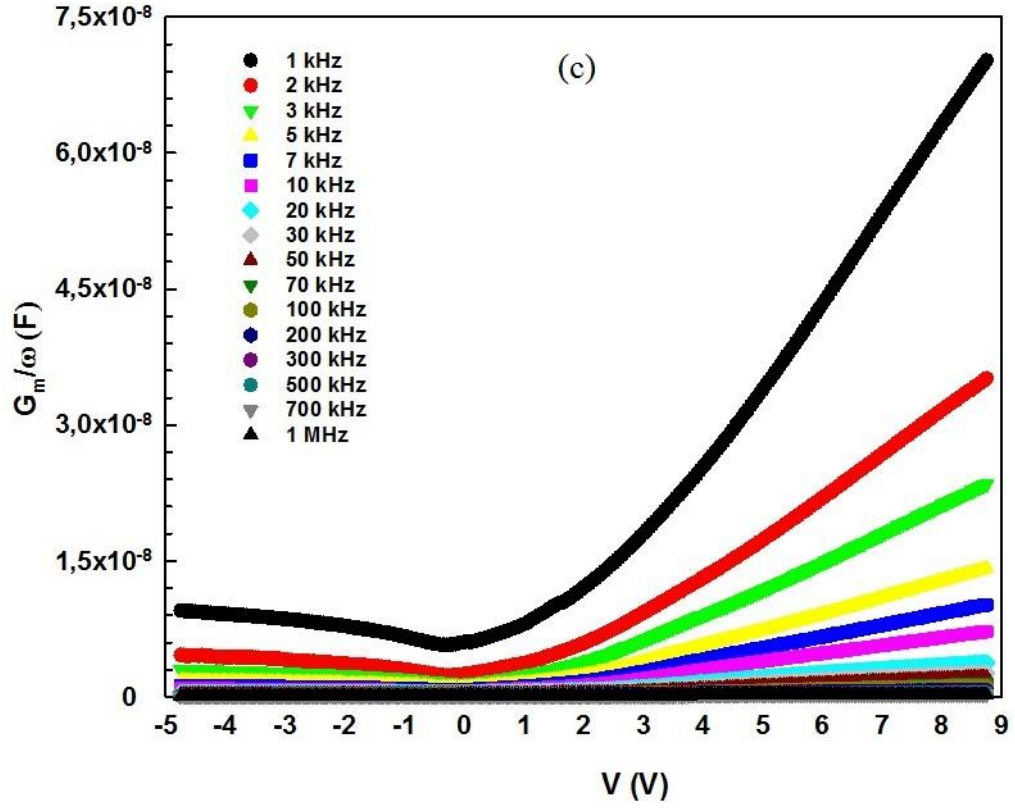
Au/SnO₂/n-Si (MOS) kapasitörün frekansa ve radyasyona bağlı elektriksel özelliklerini belirlemek için kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G/ω-V) ölçümleri geniş bir frekans (1 kHz-1 MHz) ve radyasyon (1-100 kGy) aralığında alınmıştır. Bu ölçümler kullanılarak MOS kapasitörün seri direnci ve arayüzey durum yoğunluğu hesaplandı. Hem frekansa hem de radyasyona bağlı elde edilen sonuçlar sırası ile aşağıda verilmiştir.

5.1. Frekansa Bağlı Elektriksel Ölçümler

Au/SnO₂/n-Si (MOS) kapasitörün 1 kHz-1 MHz frekans aralığında ve oda sıcaklığında ölçülen kapasitans ve iletkenlik değerlerinin, uygulanan gerilimin fonksiyonu olarak çizilen C_m -V ve G_m/ω -V eğrileri Şekil 5.1'de verildi. Şekil 5.1 (a-b) ve 5.1 (c-d)'den görüldüğü gibi, kapasitans ve iletkenlik değeri artan frekansla azalmaktadır. Bu durum, düşük frekanslarda arayüzey durumlarının uygulanan a.c. sinyali takip edebilmesine ve yüksek frekanslarda ise takip edememesine atfedilmektedir. Bu nedenle, yüksek frekanslarda arayüzey durumlarından kapasitansa ve iletkenliğe katkı gelmemektedir [4,5,20-26]. Ayrıca, Şekil 5.1 (a-b)'den görüldüğü gibi, düşük frekanslarda kapasitans eğrileri pik vermektedir. Bu pikin varlığı, arayüzey oksit tabakasına ve yasak enerji aralığındaki arayüzey durumlarının özel bir dağılımına atfedildi. Yüksek frekanslara gidildikçe pikin büyüklüğü, arayüzey durumlarının a.c. sinyali takip edememesinden dolayı azalmaktadır.



Şekil 5.1. Au/SnO₂/n-Si (MOS) kapasitörün farklı frekanslardaki (a-b) C_m -V ve (c-d) G_m/ω -V eğrileri



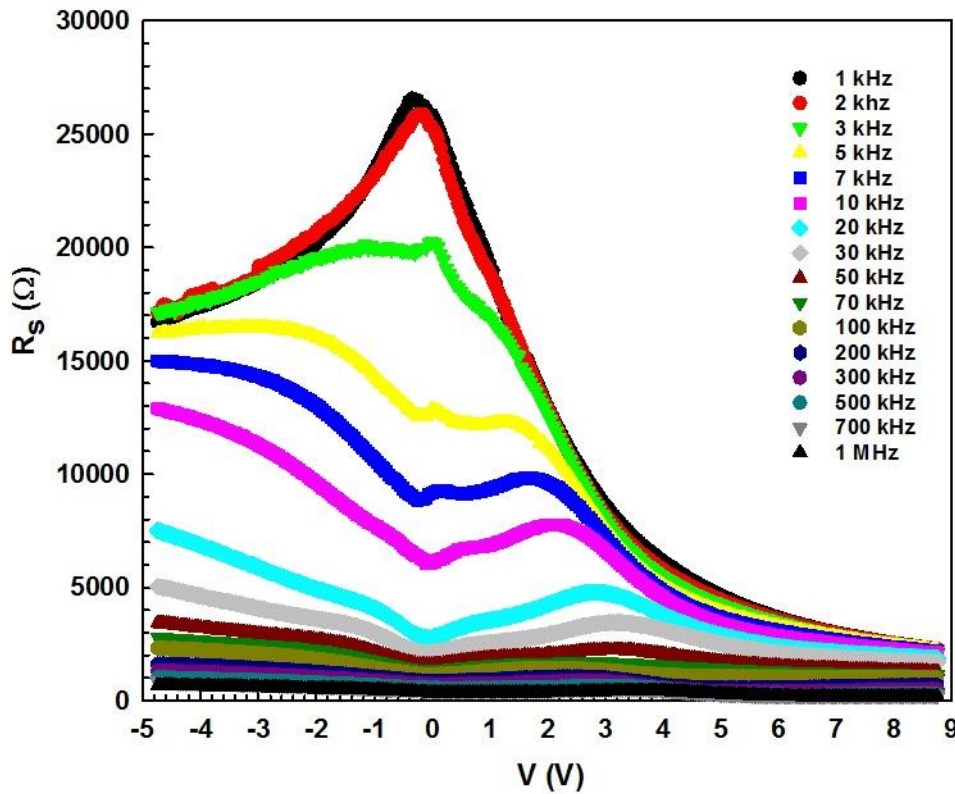
Şekil 5.1 (devam) Au/SnO₂/n-Si (MOS) kapasitörün farklı frekanslardaki (a-b) C_m - V ve (c-d) G_m/ω - V eğrileri

Literatürde yarıiletken aygıtların seri direncini (R_s) belirlemek için birkaç metot önerilmektedir. Bu çalışmada, MOS kapasitörün seri direncini belirlemek için Nicollian ve

Goetzberger tarafından geliştirilen metot kullanılmıştır [8,9]. Bu metoda göre, kuvvetli yığılma bölgesinde ölçülen kapasitans (C_{ma}) ve iletkenlik (G_{ma}) değerleri kullanılarak aşağıda verilen formülden seri direnç değerleri hesaplandı.

$$R_s = \frac{G_{ma}}{G_{ma}^2 + (\omega C_{ma})^2} \quad (5.1)$$

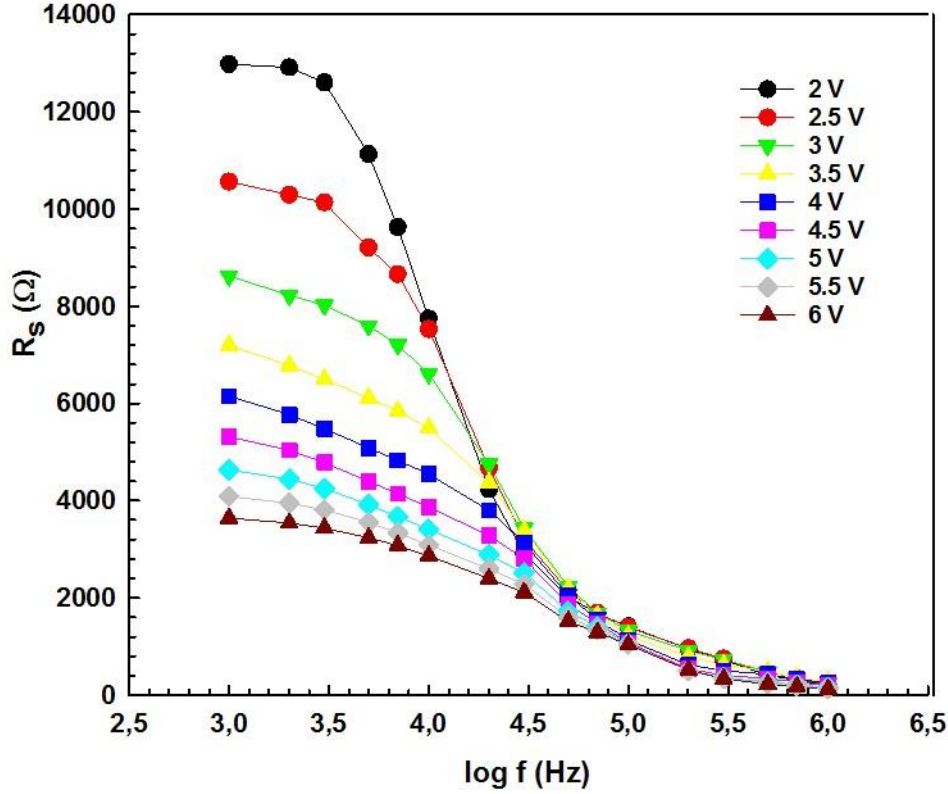
MOS kapasitörün R_s değerlerinin voltaja bağlı değişimi Şekil 5.2’de verildi. Şekilden de görüldüğü gibi seri direnç, artan frekansla azalmaktadır. Seri direncin bu davranışı oksit/yarıiletken arayüzeyinde lokalize olmuş arayüzey durum yoğunluğuna atfedilmektedir. Ayrıca, seri direnç eğrileri yaklaşık 0 V civarında pik vermektedir. Bu durum, piklerin meydana geldiği bölgede arayüzey durumlarının daha yoğun şekilde yerleşmiş olduğuna atfedildi [4,5,24-27].



Şekil 5.2. MOS kapasitörün seri direncinin frekansa bağlı değişim eğrileri.

Farklı doğru beslem gerilimleri için seri direnç değerlerinin frekansa bağlı değişimi Şekil 5.3’de verildi. Şekilden görüldüğü gibi, seri direnç değerleri her gerilim değerinde artan frekansla azalmakta ve düşük frekanslarda sabit hale gelmektedir. Bu sonuç, arayüzey

durumlarının yüksek frekanslarda uygulanan gerilimin a.c. sinyalini takip edilemediğini göstermektedir.

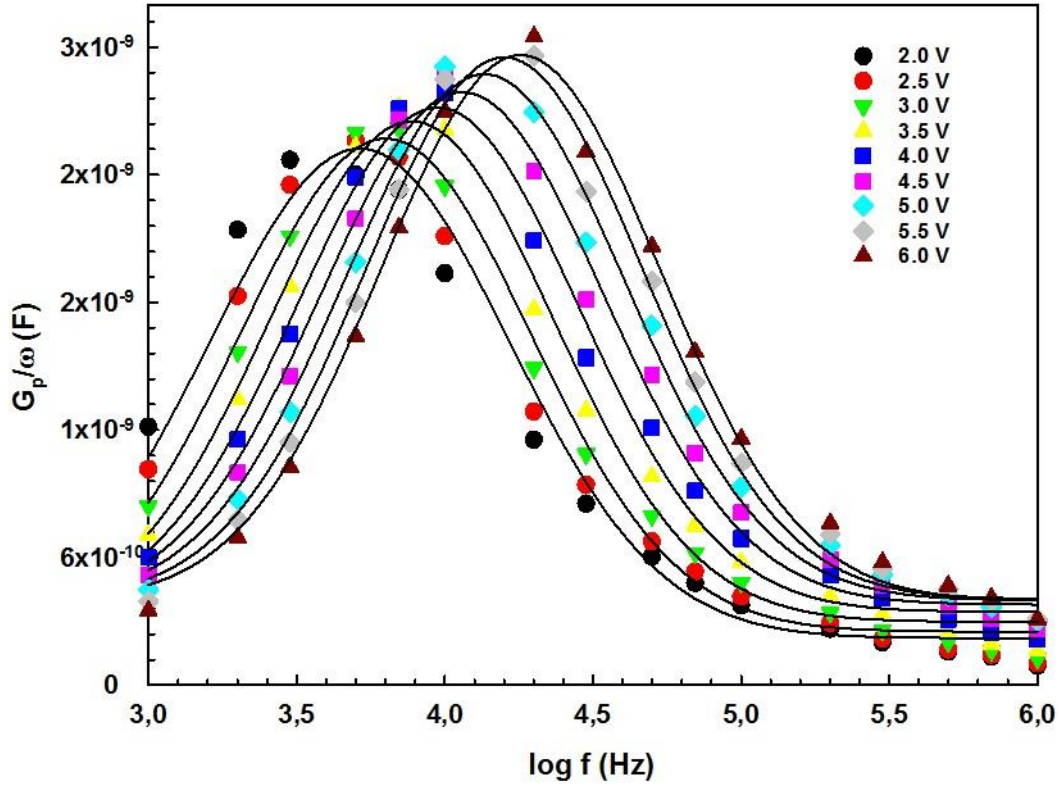


Şekil 5.3. Farklı doğru beslem gerilimleri için seri direncin frekansa bağlı değişim eğrileri

MOS kapasitörün arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) ve arayüzey durumlarının zaman sabiti iletkenlik metodu kullanılarak hesaplandı. Bu metotta paralel iletkenlik (G_p/ω) frekansın bir fonksiyonu olarak ölçülür ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\frac{G_p}{\omega} = \frac{\omega G_m C_{ox}^2}{G_m^2 + \omega^2 (C_{ox} - C_m)^2} \quad (5.2)$$

Paralel iletkenlik (G_p/ω)'nın farklı voltajlardaki frekansa bağlı değişim eğrileri Şekil 5.4'de verildi. Şekilden de görüldüğü gibi, her voltaj değerinde G_p/ω eğrileri bir pik vermekte ve bu pikin şiddeti artan gerilimle daha yüksek frekanslara doğru kaymaktadır. Bu durum arayüz tuzak modeli ile açıklanabilir [28-33].



Şekil 5.4. MOS kapasitörün farklı doğru beslem gerilimlerinde G_p/ω 'nın frekansa bağlı değişim eğrileri.

$[\partial(G_p/\omega)]/\partial(\omega\tau)=0$ durumunda paralel iletkenlik eğrileri pik vermekte ve bu pikin maksimum G_p/ω değerinden ve bu değere karşılık gelen frekans değerinden sırasıyla arayüzey durum yoğunluğu $[N_{ss}=(G_p/\omega)_{\max}/(0.402qA)]$ ve arayüzey durum zaman sabiti $[\tau=1.98/\omega_p]$ hesaplandı. MOS kapasitörün hesaplanan arayüzey durumları ve arayüzey durum zaman sabitleri Çizelge 5.1' de gösterilmiştir. Çizelge 5.1'den görüldüğü gibi artan gerilimle arayüzey durum yoğunluğu artarken zaman sabitleri azalmaktadır.

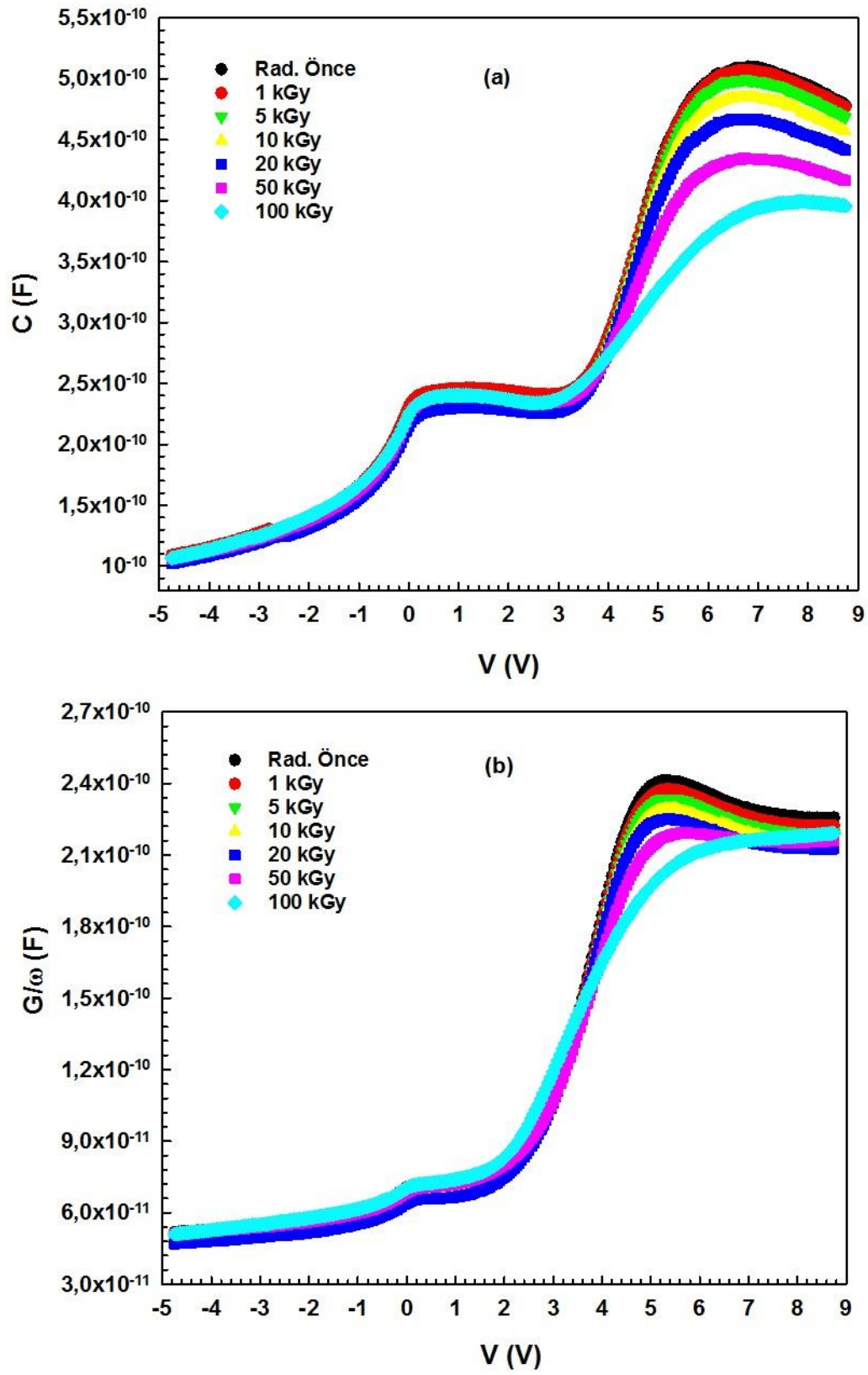
Çizelge 5.1. MOS kapasitörün hesaplanan arayüzey durumları ve zaman sabitleri

V (V)	$N_{ss} (10^{12} eV^{-1}.cm^{-2})$	$\tau (10^{-5} s)$
2,0	1,23	7,29
2,5	1,25	5,91
3,0	1,27	5,15
3,5	1,31	4,18
4,0	1,34	3,39
4,5	1,38	2,75
5,0	1,42	2,39
5,5	1,46	1,94
6,0	1,47	1,81

5.2. Radyasyona Bağlı Elektriksel Ölçümler

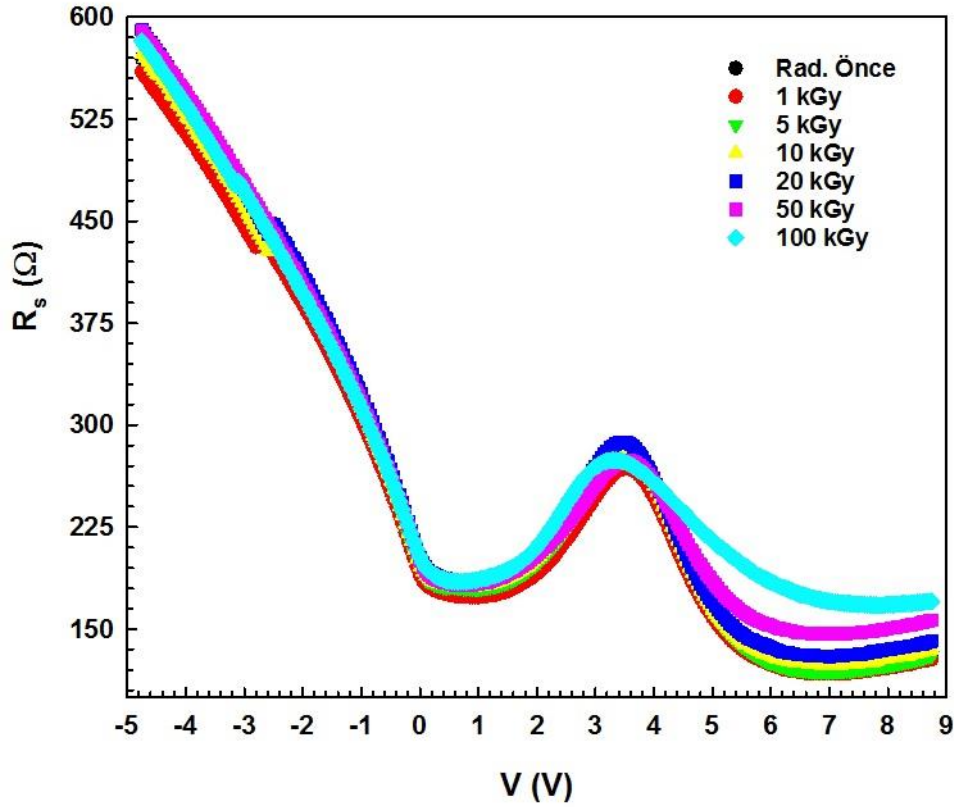
Au/SnO₂/n-Si (MOS) yapının elektriksel karakteristikleri üzerine radyasyon etkisini araştırmak için, kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj ölçümleri 1 MHz frekans değerinde geniş bir radyasyon doz aralığında (1-100 kGy) gerçekleştirildi. Radyasyon ışınlaması ise, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun (TAEK) Sarayköy'deki ışınlama tesisinde 0,69 kGy/h doz oranına sahip ⁶⁰Co gama-ışın kaynağı kullanılarak gerçekleştirildi.

MOS kapasitörün radyasyondan önce ve sonra ölçülen C-V ve G/ω-V eğrileri Şekil 5.5 (a) ve (b)'de verildi. Şekil 5.5 (a) ve (b)'de görüldüğü gibi, kapasitans ve iletkenlik değeri radyasyondan önceki değeri ile karşılaştırıldığında artan radyasyon dozu ile azalmaktadır. Bu azalma, oksit/yarıiletken arayüzeyinde radyasyonun meydana getirdiği arayüzey tuzak yüklerinin azalmasına atfedilmektedir [16,17,35-42].



Şekil 5.5. MOS kapasitörün radyasyondan önce ve sonraki C-V ve G/ω -V eğrileri

MOS kapasitörün radyasyon dozuna bağlı R_s -V eğrileri Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Şekil 5.6'den görüldüğü gibi artan radyasyon dozu ile iletkenliğin azalması nedeniyle seri direnç artmaktadır. İleri pozitif gerilimlerde seri direnç gerçek değerine, negatif gerilimlerde ise sonsuza gider. Radyasyona bağlı seri direnç eğrileri tüketim bölgesinde bir pik vermektedir. Bu durum, pik bölgesindeki arayüzey durumlarının yeniden yapılanıp düzenlenmesine atfedilir.



Şekil 5.6. MOS kapasitörün farklı radyasyon dozlarında çizilen R_s -V eğrileri

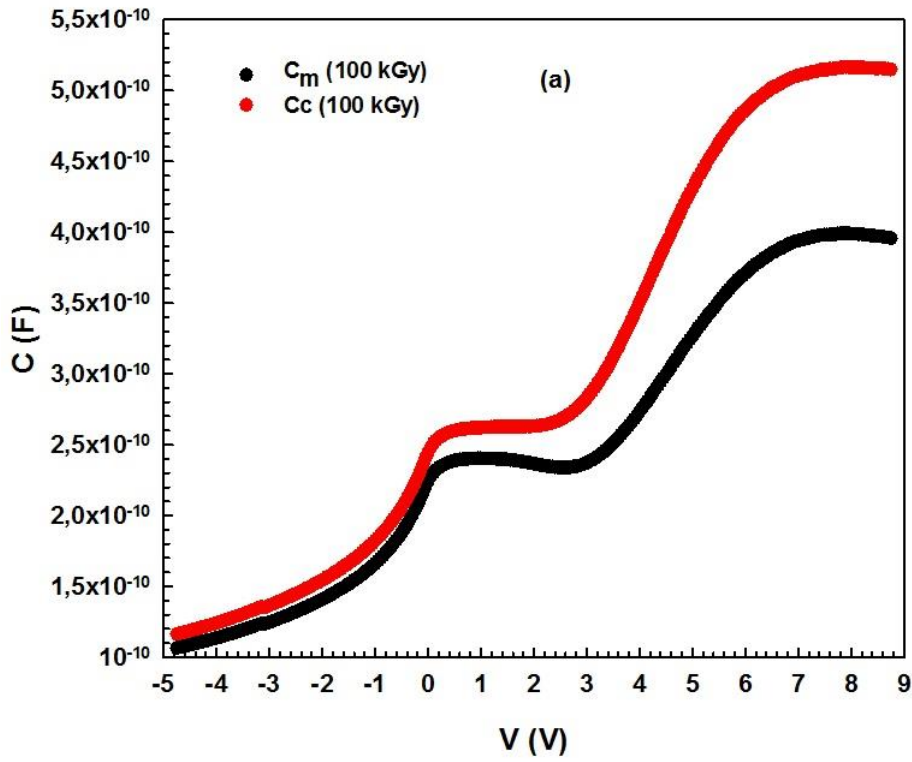
Eğer yarıiletken aygıtta seri direnç varsa ve büyükse, ölçülen iletkenlik ve kapasitans gerçek değerler değildir. Seri direnç etkisi dikkate alınarak, aşağıdaki eşitlikler kullanılarak MOS kapasitörün düzeltilmiş kapasitans ve iletkenlik değerleri hesaplandı [4].

$$C_c = \frac{[G_m^2 + (\omega C_m)^2] C_m}{a^2 + (\omega C_m)^2} \quad (5.3)$$

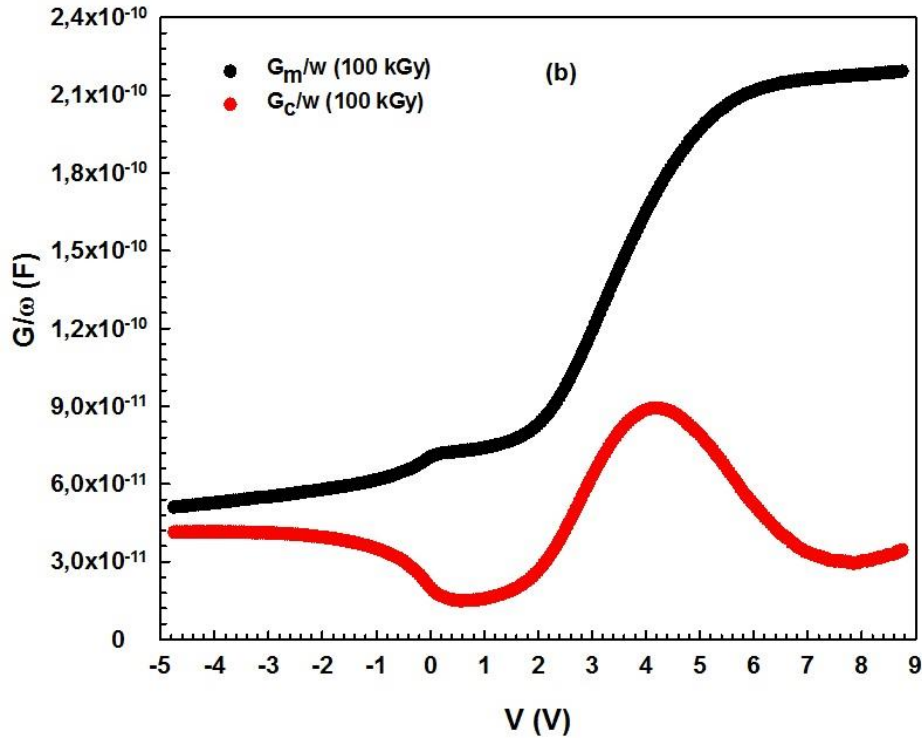
$$G_c = \frac{[G_m^2 + (\omega C_m)^2] a}{a^2 + (\omega C_m)^2} \quad (5.4)$$

Burada, $a = G_m - [G_m^2 + (\omega C_m)^2]R_s$ ile verilir.

Seri direnç etkisini ihmal ederek hesaplanan düzeltilmiş kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj eğrileri Şekil 5.7’de verildi. Şekilden de görüldüğü gibi, düzeltilmiş kapasitans değeri özellikle pozitif gerilim bölgesinde artan gerilim ile artmaktadır. Düzeltilmiş iletkenlik değeri ise, artan gerilimle azalmaktadır. Düzeltilmiş iletkenlik eğrisi pik vermekte ve bu pik oksit/yarıiletken arayüzeyindeki yük taşıyıcılarının dağılımından ileri gelmektedir.



Şekil 5.7. MOS kapasitörün 100 kGy için düzeltilmiş kapasitans ve iletkenlik eğrileri
(a) C-V ve (b) G/ω-V

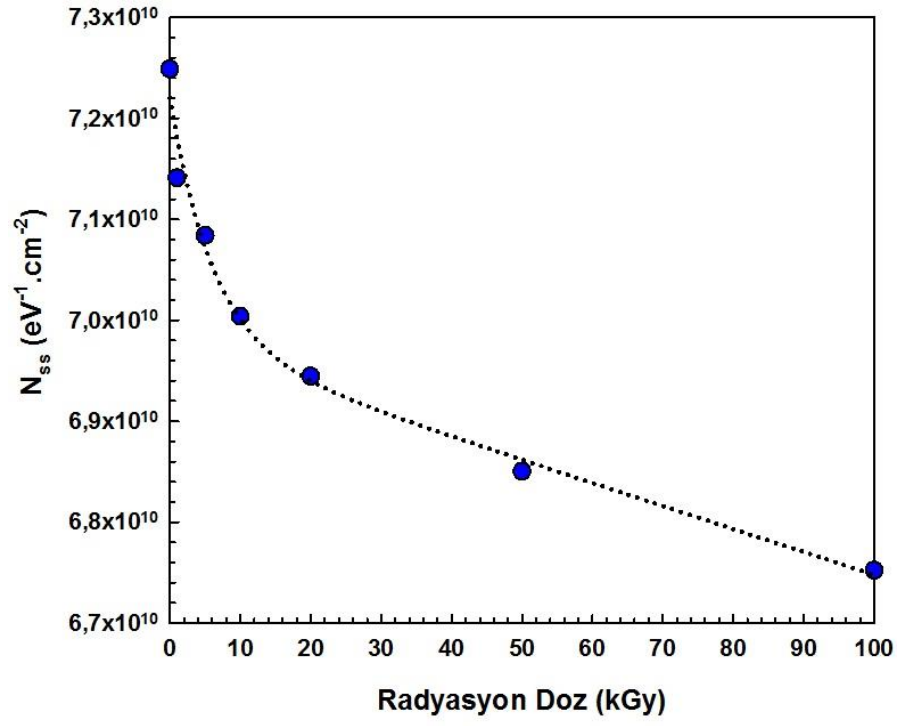


Şekil 5.7. (devam) MOS kapasitörün 100 kGy için düzeltilmiş kapasitans ve iletkenlik eğrileri (a) C-V ve (b) G/ω -V

Radyasyona bağlı arayüzey durumları yoğunluğu (N_{ss}), Hill-Coleman metodu kullanarak hesaplandı [43]. Bu metoda göre, N_{ss} değerleri ölçülen kapasitans ve ölçülen iletkenliğin maksimum değerinden aşağıdaki eşitlik kullanılarak elde edildi.

$$N_{ss} = \frac{2}{qA} \frac{(G_m/\omega)_{\max}}{((G_m/\omega)_{\max} C_{ox})^2 + (1 - C_m/C_{ox})^2} \quad (5.5)$$

Elde edilen arayüzey durum yoğunluğunun radyasyona bağlı değişim eğrisi Şekil 5.8’de verildi. Şekilden görüldüğü gibi, uygulanan radyasyon dozuna bağlı olarak arayüzey durum yoğunluğu azalmaktadır. Bu davranış, radyasyon altında oksit/yarıiletken arayüzeyindeki yüklerin yeniden düzenlenip yapılanmasına ve rekombinasyon merkezlerinin sayısındaki azalmaya atfedildi [44-50].



Şekil 5.8. MOS kapasitörün arayüzey durumları yoğunluğunun radyasyona bağlı değişim eğrisi

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, hazırlanan metal-oksit-yarıiletken ($\text{Au/SnO}_2/\text{n-Si}$) MOS kapasitörün elektriksel karakteristikleri radyasyondan önce ve sonra olmak üzere geniş bir frekans ve radyasyon doz aralığında incelendi. Kapasitans-voltaj ve iletkenlik-voltaj ölçümleri frekansa bağlı yapıldıktan sonra, radyasyonun kapasitörün temel elektriksel karakteristiklerine etkisini incelemek amacıyla kapasitör farklı radyasyon dozlarına tabi tutularak bu ölçümler gerçekleştirildi.

Frekansa bağlı ölçümlerde kapasitans ve iletkenlik değerleri artan frekansla azalmaktadır. Kapasitans ve iletkenliğin frekans bağımlılığı arayüzey durumlarına (N_{ss}) atfedildi. Düşük frekanslarda, oksit/yarıiletken arayüzeyinde yasak bant aralığı içindeki girilebilir enerji seviyeleri olan arayüzey durumları a.c. sinyali takip ettiğinden bu değerlere bir katkı gelir. Ancak yüksek frekanslarda ($f \geq 500$ kHz) arayüzey durumları a.c. sinyali takip edemez ve kapasitans ve iletkenliğe katkı gelmez.

Seri direnç (R_s), MOS kapasitörün elektriksel özellikleri etkileyen önemli bir parametredir. Seri direnç, kapasitans ve iletkenlik gibi frekansa bağlı olup artan frekansla azalmaktadır. Ayrıca, seri direnç eğrileri arayüzey durumlarından dolayı pik vermektedir. MOS kapasitörün arayüzey durumları yoğunluğu iletkenlik metodu kullanılarak elde edildi. Artan pozitif gerilimle arayüzey durumları yoğunluğu artarken zaman sabitleri azalmaktadır.

Radyasyonun MOS kapasitörün elektriksel karakteristikleri üzerine etkisini araştırmak için yapı farklı dozlarda gama ışınına maruz bırakıldı. Radyasyona bağlı olarak oluşan arayüzey kusurlarından dolayı, artan radyasyonla kapasitans ve iletkenlik değerleri azalmaktadır. Ayrıca, kapasitörün seri direnç değerleri artan radyasyonla artarken, arayüzey durum yoğunluğu azalmaktadır.

Sonuç olarak, metal ile yarıiletken arasına büyütülen SiO_2 , SnO_2 ve Si_3N_4 gibi dielektrik materyaller metal ile yarıiletken arasındaki yük geçişlerini düzenler ve metal-yarıiletken (MS) yapıyı metal-oksit-yarıiletken (MOS) yapıya dönüştürür. Bu yapıların temel elektriksel parametreleri MS yapılara göre oldukça farklılıklar gösterir. Seri direnç ve

arayüzey durumları yarıiletken aygıtların elektriksel karakteristiklerini etkileyen önemli parametrelerdir. Bu parametreler, MOS yapıların ideal durumdan sapmasına neden olurlar. Bu nedenle, MOS yapıların elektriksel parametreleri hesaplanırken seri direnç ve arayüzey durum etkisi mutlaka dikkate alınmalıdır. Ayrıca, bu yapıların performansı yapının hazırlanma şartlarına, metal/yarıiletken arasında oluşan potansiyel engel yüksekliğinin homojensizliğine ve arayüzey oksit tabakanın kalınlığı ile homojenliğine de bağlıdır.

KAYNAKLAR

1. Moll, J. L. (1959). Variable capacitance with large capacitance. *IRE Wescon Convention Record*, 3, 32-36.
2. Terman, L. M. (1962). An investigation of surface states at a silicon-silicon dioxide interface employing metal-oxide-silicon diodes. *Solid-State Electronics*, 5, 259-285.
3. Tataroğlu, A. (2004). *MOS Yapılarda Temel Fiziksel Parametrelerin Frekans ve Radyasyon Miktarına Bağlı İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-77.
4. Nicollian, E. H. and Brews J. R. (1982). *MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology*. New York: John Wiley & Sons, 285-318.
5. Sze, S. M. and Kwok, K. Ng (2007). *Physics of Semiconductor Devices 3rd edn*. New Jersey: John Wiley & Sons. 154-166, 202-216.
6. Rhoderick, E. H., Williams, R.H. (1988). *Metal Semiconductor Contacts*. Oxford: Oxford Press, 257-267.
7. Ghandhi, S. K. (1983). *VLSI Fabrication Principles*. New York: John Wiley & Sons, New York, 401-405.
8. Nicollian, E. H. and Goetzberger, A. (1967). The Si-SiO₂ Interface - Electrical Properties as Determined by the Metal-Insulator-Silicon Conductance Technique. *Bell System Technical Journal*, 46, 1055-1133.
9. Nicollian, E. H. and Goetzberger, A. (1965). MOS Conductance Technique for Measuring Surface State Parameters. *Applied Physics Letters*, 7, 216-219.
10. Tataroğlu, B. (2006). *MIS Yapıların Frekans ve Radyasyona Bağlı Temel Elektriksel Parametreleri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 13-67.
11. Sah, C. H. (1976). Origin of interface states and oxide charges generated by ionizing radiation. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 23(6), 1563-1568.
12. Neamen, D. A. (1997). *Semiconductor Physics and Devices 2nd ed.*, New York: Mc Graw-Hill, 420-450, 517-523.
13. Grove, A. S. (1967). *Physics and Technology of Semiconductor Devices*. New York: John Wiley & Sons, 91-106, 334-357.
14. Goetzberger, A., Klausmann, E., Schulz, M. J. (1976). Interface states on semiconductor/insulator surfaces. *CRC Critical Reviews in Solid State Sciences*, 6, 226-233.

15. Haddara, S. H., El-Sayed, M. (1988). Conductance technique in MOSFETs: study of interface trap properties in the depletion and weak inversion regimes. *Solid-State Electronics*, 31, 1289-1298.
16. Ma, T. P., Dressendorfer, P. V. (1989). *Ionizing Radiation Effects in MOS Devices and Circuits*. New York: John Wiley & Sons, 87-231.
17. Larin, F. (1968). *Radiation Effects in Semiconductor Devices*. New York: John Wiley & Sons, 8-16.
18. Barbottin, G., Vapaille, A. (1999). *Instabilities in Silicon Devices, New Insulators, Devices and Radiation Effects*. Amsterdam: Elsevier, 639-722.
19. Chauhan, R. K., Chakrabarti, P. (2002). Effect of ionizing radiation on MOS capacitors. *Microelectronic Journal*, 33, 197-203.
20. Baran, H. M., Tataroğlu, A. (2013). Determination of interface states and their time constant for Au/SnO₂/n-Si (MOS) capacitors using admittance measurements. *Chinese Physics B*, 22, 047303(1-5).
21. Tataroğlu, A., Altındal, S. (2008). Characterization of interface states at Au/SnO₂/n-Si (MOS) structures. *Vacuum*, 82, 1203-2021.
22. Szatkowski, J., Sieranski, K. (1992). Simple interface-layer model for the nonideal characteristics of the Schottky-barrier diode. *Solid State Electronics*, 35, 1203-1207.
23. Farag, A. A. M., Cavas, M., Yakuphanoglu, F. (2012). Electrical performance and interface states studies of undoped and Zn-doped CdO/p-Si heterojunction devices. *Materials Chemistry and Physics*, 132, 550-558.
24. Depas, M., Van Meirhaeghe, R. L., Lafere, W. H., Cardon, F. (1994). Electrical characteristics of Al/SiO₂/n-Si tunnel diodes with an oxide layer grown by rapid thermal oxidation. *Solid-State Electronics*, 37, 433.
25. Altındal, Ş., Yücedağ, İ., Tataroğlu, A. (2009). Analysis of surface states and series resistance in Au/n-Si Schottky diodes with insulator layer using current-voltage and admittance-voltage characteristics. *Vacuum*, 84, 363-368.
26. Chatterjee, S., Kuo, Y., Lu, J. (2008) Nano-scale patterning using the roll typed UV-nanoimprint. *Microelectronic Engineering*, 85, 202-209.
27. Iniewski, K., Balasinski, A., Majkusiak, B. et al. (1989). Series resistance in a MOS capacitor with a thin gate oxide. *Solid-State Electronics*, 32, 137-140.
28. Kar, S., Dahlke, W. E. (1972). Interface states in MOS structures with 20-40 Å thick SiO₂ films on nondegenerate Si. *Solid-State Electronics*, 15, 221-237.

29. Hung, K. K., Cheng, Y. C. (1987). Determination of Si-SiO₂ interface trap properties of p-MOS structures with very thin oxides by conductance measurement. *Applied Surface Science*, 30, 114-119.
30. Singh, R. J., Srivastava, R. S. (1982). Investigations of interface-state density in Si MOS structures. *Solid-State Electronics*, 25, 227-232.
31. Kelberlau, U., Kassing, R. (1979). Theory of nonequilibrium properties of MIS capacitors including charge exchange of interface states with both bands. *Solid-State Electronics*, 22, 37-45.
32. Konofaos, N., Evangelou, E. K., Wang, Z., Kugler, V., Helmersson, U. (2002). Electrical characterization of SrTiO₃/Si interfaces. *Non-Crystal Solids*, 303, 185-189.
33. Yun, M., Gangopadhyay, S., Bai, M., Taub, H., Arif, M., Guha, S. (2007) Hybrid metal-insulator-semiconductor structures based on ethyl-hexyl substituted polyfluorene (PF2/6) as the active polymer semiconductor. *Organic Electronics*, 8, 591-600.
34. Baran, H. M., Tataroğlu, A., Ertuğrul, R. (2012). Investigation of the effects of gamma-ray irradiation on electrical characteristics of MOS capacitors. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 14, 304-308.
35. De Vasconcelos, E.A., Da Silva Jr, E.F., Khoury, H., Freire, V.N. (2000). Effect of ageing on x-ray induced dopant passivation in MOS capacitors. *Semiconductor Science and Technology*, 794, 794-798.
36. Tataroğlu, A., Altındal, Ş. (2009). Gamma-ray irradiation effects on the interface states of MIS structures. *Sensors and Actuators A*, 151, 168-172.
37. Candelori, A., Paccagnella, A., Cammarata, M., Ghidini, G., Ceschia, M. (1999). Electron irradiation effect on thin MOS capacitors. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 245, 238-244.
38. Senthil Srinivasan, V.S., Pandya, A. (2011). Dosimetry aspects of hafnium oxide metal-oxide-semiconductor (MOS) capacitor, *Thin Solid Films*, 520, 574-577.
39. Kaya, Ş., Aktaş, A., Yılmaz, E. (2014). Effects of gamma-ray irradiation on interface states and series-resistance characteristics of BiFeO₃ MOS capacitors. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 319, 44-47.
40. Moloi, S.J., McPherson, M. (2013). Capacitance-voltage behaviour of Schottky diodes fabricated on p-type silicon for radiation-hard detectors. *Radiation Physics and Chemistry*, 85, 73-82.
41. Zeyrek, S. Turan, A., Bülbül, M. M. (2013). The C-V and G-V Electrical Characteristics of ⁶⁰Co γ -Ray Irradiated Al/Si₃N₄/p-Si (MIS) Structures. *Chinese Physics Letters*, 30, 077306 (1-5).

42. Taşcıoğlu, İ., Tataroğlu, A., Özbay, A., Altındal, Ş. (2010). The role of ^{60}Co γ -ray irradiation on the interface states and series resistance in MIS structures. *Radiation Physics and Chemistry*, 79, 457-461.
43. Hill, W.A., Coleman, C.C. (1980). A single-frequency approximation for interface-state density determination. *Solid-State Electronics*, 23, 987-993.
44. Dökme, İ., Altındal, Ş. (2012). The effect of gamma irradiation on electrical and dielectric properties of Al-TiW-Pd₂Si/n-Si Schottky diode at room temperature. *Current Applied Physics*, 12, 860-864.
45. Ma, T. P. (1993). Generation and transformation of interface traps in MOS structures. *Microelectronic Engineering*, 22, 197-200.
46. Altındal, Ş., Karadeniz, S., Tuğluoğlu N., Tataroğlu, A. (2003). The role of interface states and series resistance on the I-V and C-V characteristics in Al/SnO₂/p-Si Schottky diodes. *Solid State Electronics*, 47, 1847-1854.
47. Harold, E., Boesch Jr, H. E. (1982). Interface-state generation in thick SiO₂ layers. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, NS-29, 1446-1458.
48. Felix, J.A., Schwank, J.R., Fleetwood, D.M., Shaneyfelt, M.R., Gusev, E.P. (2004). Effects of radiation and charge trapping on the reliability of high-kappa gate dielectrics. *Microelectronic Reliability*, 44, 563-575.
49. Tataroğlu, A., Altındal Ş., Bülbül M.M. (2006). ^{60}Co γ irradiation effects on the current-voltage (I-V) characteristics of Al/SiO₂/p-Si (MIS) Schottky diodes. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, 568, 863-868.
50. Ertuğrul, R., Tataroğlu, A. (2014). Effects of gamma irradiation on electrical parameters of metal-insulator-semiconductor structure with silicon nitride interfacial insulator layer. *Radiation Effects & Defects in Solids*, 169, 791-799.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı BARAN, Halil Mert
 Uyruğu TC
 Doğum tarihi ve yeri 06.12.1986
 Medeni hali Bekar
 Telefon 0530 521 12 89
 e-posta mert.baran.6@hotmail.com



Eğitim Derecesi	Okul/Program	Mezuniyet yılı
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Fizik Bölümü	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Fizik Bölümü	2010
Lise	Kırıkkale Lisesi	2005

İş Deneyimi, Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2013- devam ediyor	Alseko Enerji San Tic A.Ş.	Satış Müdürü

Yabancı Dili

İngilizce

Yayınlar

- 1) Baran, H. M., Tataroğlu, A., Ertuğrul, R., (2012). Investigation of the effects of gamma-ray irradiation on electrical characteristics of MOS capacitors. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 14, 304-308.
- 2) Baran, H. M., Tataroğlu, A. (2013). Determination of interface states and their time constant for Au/SnO₂/n-Si (MOS) capacitors using admittance measurements. *Chinese Physics B*, 22, 047303(1-5).
- 3) Tataroğlu, A., Yıldırım M., Baran, H. M. (2014). Dielectric characteristics of gamma irradiated Au/SnO₂/n-Si/Au(MOS) capacitor. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 28, 89-93.

Hobiler

Tavla, masa tenisi, yüzme, bisiklet sürmek.



GAZİ GELECEKTİR..