



Metal/Ferro-elektrik/Yarıiletken (Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si) (MFS) Yapıların Hazırlanması ve Kompleks Dielektrik ile Elektrik Modülüsün 1 MHz için Sıcaklığa Bağlı İncelenmesi

Perihan Durmuş

Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Öz

Bu çalışmada ferro-elektrik (Bi₄Ti₃O₁₂) ara yüzeyli metal-yarıiletken (Au/n-Si) (MS) yapılar hazırlandı ve onların kompleks dielektrik ($\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''$) ile elektrik Modülüsü ($M^* = M' + jM''$) geniş bir sıcaklık aralığında (80-320 K) 1 MHz' de detaylı olarak incelendi. Elde edilen deneysel sonuçlardan, bu parametrelerin ve elektriksel iletkenliği (σ) hem sıcaklığa hem de voltaja oldukça bağlı olduğunu gösterdi. Hem ϵ' -V hem de ϵ'' -V grafiklerin terslenim, tükenim ve yığılma bölgelerine sahip olduğu ve ϵ' ile ϵ'' değerlerindeki değişim özellikle tükenim ve yığılma bölgesinde olmaktadır. Bu değişim, tükenim bölgesinde ara yüzey durumlarının/tuzakların varlığına (D_{it}) ve sıcaklığa atfedilirken yığılma bölgesindeki ise seri direnç (R_s) ve ferroelektrik ara yüzey tabakanın varlığına atfedildi. Tükenim bölgesinde hem ϵ' -V hem de ϵ'' -V eğrilerinde gözlenen pik (Bi₄Ti₃O₁₂)/n-Si ara yüzeyinde ve yarıiletkenin yasak enerji bandına yerleşmiş ara yüzey durumlarının özel bir dağılımına ve sıcaklık ile dış dc elektrik alana atfedildi. ϵ' , ϵ'' , M' , M'' ve σ değerlerinin azalan sıcaklıkla azalması, düşük sıcaklıklarda yeterince serbest taşıyıcının mevcut olmadığını ve artan sıcaklıkla daha çok sayıda yükün tuzaktan iletim bandına geçmesine atfedildi.

Makale Bilgisi

Başuru: 26/10/2017

Düzeltilme: 11/12/2017

Kabul: 14/12/2017

Anahtar Kelimeler

MFS yapı

Dielektrik parametreler

Elektrik modülüs

Keywords

MFS structure

Dielectric parameters

Electric modulus

Fabrication of Metal/Ferro-Electric/Semiconductor (Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si) Devices and Temperature Dependent Examination of Their Complex Dielectric and Electric Modulus at 1 MHz

Abstract

Metal-semiconductor (MS) devices, which have ferroelectric (Bi₄Ti₃O₁₂) interfacial layers, were fabricated and their complex dielectric ($\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''$) and electric modulus ($M^* = M' + jM''$) have been studied in a wide range of temperature (80-320 K) at 1 MHz. Our results revealed that these parameters and electrical conductivity (σ) were dependent on both the temperature and the voltage applied. The ϵ' -V and ϵ'' -V plots have reverse bias, depletion and forward bias regions. Significant variations in ϵ' and ϵ'' characteristics have been observed especially in the depletion and forward bias regions. Variations in the depletion region were referred to the existence of states/traps (D_{it}) in the interfacial layer and effects of the temperature. In the case of the forward bias region, they were referred to the serial resistance (R_s) and the existence of the ferroelectric interfacial layer. ϵ' -V and ϵ'' -V curves exhibited peak behavior in the depletion region. Such peak behavior was attributed to the special distributions of the interfacial states localized between (Bi₄Ti₃O₁₂)/n-Si interface, the forbidden energy band of the semiconductor, temperature and electric field created by the applied dc voltage. Decreases in the ϵ' , ϵ'' , M' , M'' and σ values with respect to the decreasing temperature were referred to the non-existence of the sufficient free carriers at lower temperature and to the high amount of charge transfers from traps to the conduction band as temperature increases.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda geleneksel SiO₂ ve SnO₂ gibi düşük dielektrik sabitine sahip malzemeler yerine TiO₂, Bi₄Ti₃O₁₂ (BTO), grafen-oksit (GO) gibi yüksek dielektrik sabitine (κ) sahip malzemeler tercih edilmeye başlanmıştır. Çünkü bu tür malzemeler; bir taraftan yarıiletken aygıtlardaki sızıntı akımı ve seri direnç (R_s) değerlerinde hatırı sayılır azaltırken diğer taraftan da kısa devre direncini (R_{sh}), engel yüksekliğini ve doğrultma oranını artırmaktadır. Baryum-titanyum-oksit (BTO) malzemesi de yüksek dielektrik sabiti değerine (küçük frekanslarda ~200) sahip olup birçok yüzey durumunu pasife edebilme özeliğine sahiptir [1-8]. Öte yandan, kalıcı bellek uygulamalarına uyum sağlayan düşük zorlayıcı alan değeri, termal depolarizasyon problemlerini asgari düzeye indiren yüksek Curie sıcaklığı, yüksek dielektrik sabiti, yüksek kırılma dayanımı ve özgün anahtarlama davranışı yüzünden BTO bellek depolama kondansatörlerinde, optik belleklerde ve elektro-optik cihaz uygulamalarında oldukça fazla ilgi çekmiştir [5–13]. Ferroelektrik BTO ara yüzey tabakasının bahsedilen bu üstün özelliklerinden dolayı özellikle metal-ferroelektrik-metal (MFM) yapılar, ferro-elektrik rastgele erişimli bellek (FeRAM) [9], metal-ferroelektrik-yarıiletken (MFS), metal-ferroelektrik-yalıtkan-yarıiletken (MFIS) yapılar veya kondansatörler ile kapı (gate) yalıtkanı olarak kullanıldığı ferroelektrik alan etkili transistörlerin (FeFET) [14–17] yapımında ince arayüzey film olarak kullanılmaktadır. Bir MFS yapıda yarıiletkenin yüzey potansiyeli ferro-elektrik ince filmin kalıntı polarizasyonu ile kontrol edilmektedir.

MFS yapılar ilk olarak Wu [19] tarafından çalışılmıştır ve onu takiben araştırmacılar bu yapılar üzerine çeşitli çalışmalar yürüterek uygun ferro-elektrik malzemelerin belirlenmesi için çalışmışlardır [20–24]. Ayrıca, ferro-elektrik arayüzey tabakası sayesinde düşük beslem voltaj değerlerinde dahi iyi admittans kapasitans-voltaj (C-V) ve iletkenlik-voltaj (G-V) karakteristiklerinin elde edilmesine olanak sağlar. Yarıiletken aygıtların performansını etkileyen birçok etken vardır ve bunların başında ara yüzey tabakası, seri direnç, arayüzey durumlarının yoğunluğu, sıcaklık, frekans, voltaj ve metal ile yarıiletken arasında oluşan engelin biçimi gelmektedir. Özellikle aygıt üzerine uygulanan voltaj; ferro-elektrik katman, tükenim bölgesi ve cihazın seri direnci tarafından paylaşılır. Yüksek- κ malzemeler düşük R_s , N_{ss} ve kaçak akım sağladıklarından dolayı aygıt performansının artmasına neden olur. Dahası metal ve yarıiletken arasına yüksek- κ ince film büyütülmesi bu katmanlar arasındaki etkileşim ve difüzyonu engeller, böylece ek gelişmelere neden olur.

Son zamanlarda, admittans metodu, metal-yarıiletken (MS), MIS ve MFS gibi yapıların ara yüzey durumlarının yoğunluğu, dielektrik ve elektrik özellikleri ve aktivasyon enerjisi gibi yapısal parametrelerin belirlenmesinde önerilen çok kullanışlı bir metodudur [24-27]. MFS yapıların çeşitli yöntemlerle karakterize edildiği çalışmalar bulunmaktadır. Bilindiği gibi sadece oda sıcaklığında veya dar bir sıcaklık ya da voltaj aralığında alınan C-V ve G/w-V ölçümleri bize hazırlanan yapının ne elektrik ne de dielektrik özellikleri hakkında detaylı bir bilgi vermez. Bu amaçla bu çalışmada, metal-yarıiletken (MS) yapıların performansını artırmak amacıyla önce Bi₄Ti₃O₁₂ ara yüzeyli metal-yarıiletken (Au/n-Si) (MS) yapılar hazırlandı. Sonra, bu yapıların hem kompleks dielektrik sabiti ($\epsilon^* = \epsilon' - j \epsilon''$) hem de kompleks elektrik modülü ($M^* = M' + jM''$) reel ve imajiner kısımları geniş bir sıcaklık (80-320 K) ve voltaj ($\pm 5V$) aralığında 1 MHz'de detaylı olarak incelendi. Bunlara ilave olarak, yapının elektriksel iletkenliği de aynı sıcaklık ve voltaj aralığında incelendi.

2. DENEYSEL DETAYLAR (EXPERIMENTAL DETAILS)

Au-Bi₄Ti₃O₁₂-nSi (MFS) tipi yapılar hazırlanmadan önce, n-Si yarıiletken yapraklar geleneksel kimyasal temizleme yöntemleri kullanılarak ultrasonik banyoda iyice temizlendikten hemen sonra yüksek öz dirençli de-iyonize (18 M Ω ·cm) su ile yıkayıp kuru azot gazıyla (N₂) kurulandı. Daha sonra MFS yapıyı oluşturmak için ferroelektrik Bi₄Ti₃O₁₂ (BTO) ince film, Si yarıiletkenin ön yüzeyi üzerine radyo frekans (RF) magnetron püskürtme yöntemi kullanılarak büyütüldü. İlk önce Si alttaş püskürtme sisteminin yükleme odasına yerleştirilerek yükleme odasında vakum altına alındı. Yükleme odasının basıncı 10⁻⁸ Torr'a ulaştığında alttaş püskürtme odasına transfer edildi. Sistem, plazma ortamının oluşabilmesi için Argon (Ar) ve Bi₄Ti₃O₁₂ tabakasının oluşturulabilmesi için Oksijen (O₂) akış miktarları Ar/O₂=90/10 sccm ve alttaş sıcaklığı 700 °C olacak şekilde ayarlandı. Sonra, alttaş püskürtme odasına transfer edilerek yüksek saflıkta (%99,999) Bi₄Ti₃O₁₂ hedef alttaş üzerine gönderildi. Böylece, Si alttaşın ön yüzeyi üzeri Bi₄Ti₃O₁₂ ile kaplandı ve film kalınlığı arayüzey kapasitans formülünden ($C_i = \epsilon' \epsilon_0 A/d_i$)

90 Å olarak belirlendi. Hem arka Omik hem de ön doğrultucu kontakların oluşturulmasında yüksek vakumlu (10^{-6} Torr) termal buharlaştırma sistemi kullanıldı. Yarıiletkenin arka yüzeyi üzerine %99,999'luk saflığa sahip altın (Au) 600 °C'de buharlaştırılarak ~2000 Å kalınlığında omik kontaklar oluşturuldu. Sonra, doğrultucu kontak oluşturmak için buharlaştırma sisteminde saf alüminyum buharlaştırılarak ~2000 Å kalınlığında Au, $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ büyütülen yüzey üzerine kaplandı. Böylece, n-Si üzerine MFS yapı oluşturuldu.

Elektriksel ölçümler için öncelikle gümüş pasta yardımıyla iletken teller doğrultucu kontakların üzerine tutturuldu. Daha sonra MFS yapının C-V ve G-V ölçümleri 1 MHz'de ve 80 K-320 K sıcaklık aralığında Hewlett Packard 4192A düşük frekans (LF) empedans analizörü yardımıyla gerçekleştirildi. Sıcaklığa bağlı elektriksel ölçümler için MFS yapı Janis vpf-475 kriyostat içine alında ve sıcaklık kontrolü Lake Shore model 321 ile gerçekleştirildi. Ayrıca tüm ölçümlerde bilgisayara takılan bir IEEE-488 a.c./d.c. çevirici kart ve yazılım programı kullanıldı. Yapının, C-V and G-V ölçümleri Hewlett Packard 4192A düşük frekans (LF) empedans analizörü kullanılarak gerçekleştirildi. Ayrıca, tüm ölçümlerde bilgisayara takılan bir IEEE-488 a.c./d.c. çevirici kart ve yazılım programı kullanıldı.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Hazırlanan $\text{Au}/\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{n-Si}$ (MFS) yapının ϵ' , ϵ'' , $\tan\delta$, M' , M'' ve ac iletkenlik (σ_{ac}) değerleri 1 MHz'de farklı sıcaklıklarda (80-320 K) ölçülen kapasitans ve iletkenlik (C ve G) değerleri kullanılarak sırasıyla aşağıda verilen formüller kullanılarak hem sıcaklığın hem de voltajın fonksiyonu olarak hesaplandı.

$$\epsilon^*(\omega) = \epsilon' - i\epsilon'' = \frac{C}{C_0} = i \frac{x}{\omega C_0} \quad (1)$$

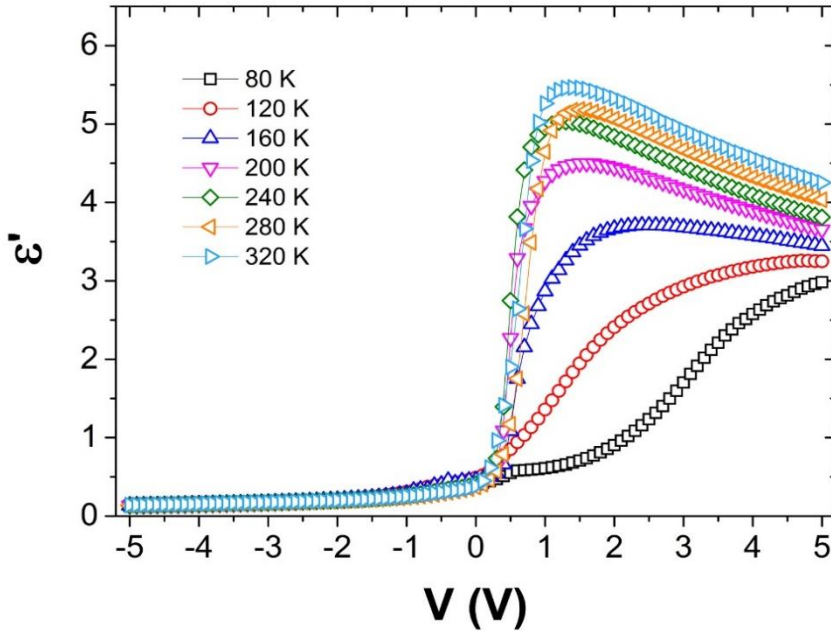
$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (2)$$

$$M^*(\omega) = \frac{\epsilon'}{\epsilon'(\omega)^2 + \epsilon''(\omega)^2} + i \frac{\epsilon''}{\epsilon'(\omega)^2 + \epsilon''(\omega)^2} \quad (3)$$

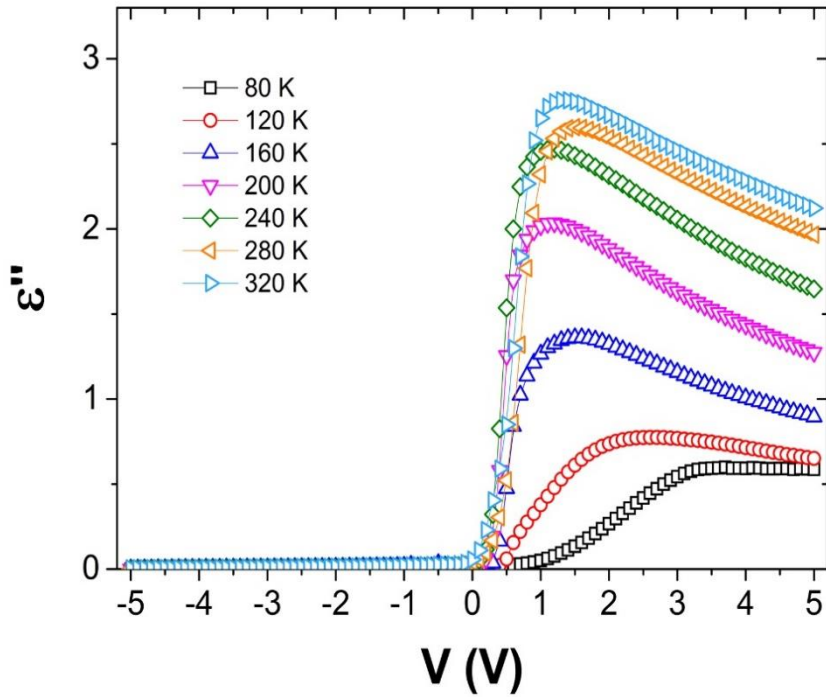
$$\sigma_{ac} = \omega C (\tan\delta) \left(\frac{d_i}{A} \right) = \epsilon'' \omega \epsilon_0 \quad (4)$$

Burada; $C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{d_i}$ boş kondansatörün/yapının sığası, ω açısal frekans ($\omega = 2\pi f$), A doğrultucu kontakın alanı, ϵ_0 boşluğun dielektrik geçirgenliğidir ($= 8.85 \times 10^{-14}$ F/cm) ve d_i ise arayüzey tabakanın kalınlığıdır.

Hazırlanan metal-ferro-elektrik $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ -yarıiletken $\text{Au}/\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{n-Si}$ (MFS) yapının 1 MHz'deki C-V ve G/w-V verileri kullanılarak Eşitlik 1' den elde edilen kompleks dielektrik sabitinin ($\epsilon^* = \epsilon' - j \epsilon''$) reel ve imajiner kısımları farklı sıcaklıklar için (80-320 K) sırasıyla Şekil 1 ve 2' de verildi. Her iki şekilden de görüldüğü gibi, hem ϵ' -V hem de ϵ'' -V grafiği açık bir şekilde bir metal-yalıtkan/oksit-yarıiletken (MIS/MOS) gibi yığılma, tükenim ve terslenim bölgelerine sahiptir. Yani bu değerler sıcaklık gibi aynı zamanda voltaja da çok bağlıdır.



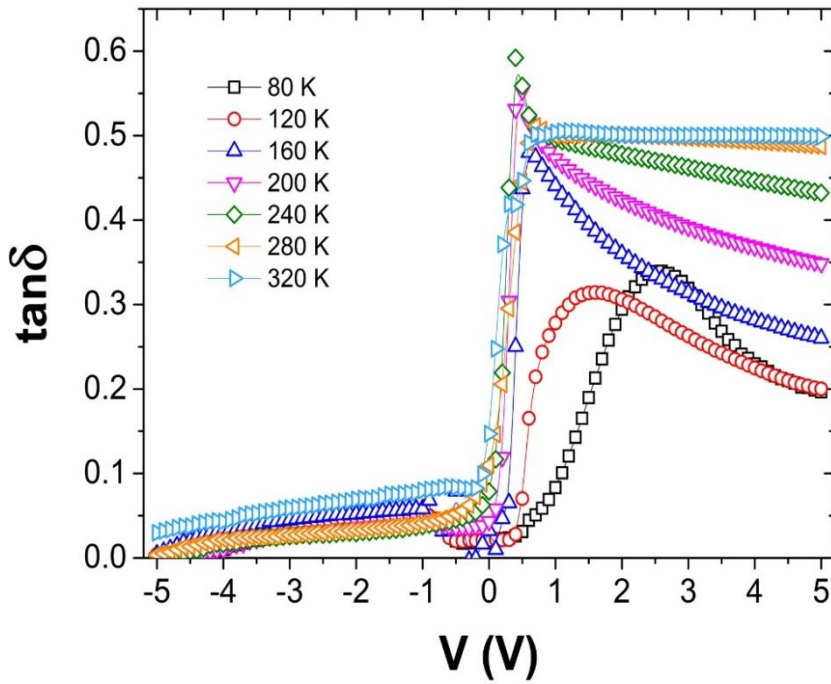
Şekil 1. Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si (MFS) için 1 MHz'de farklı sıcaklıklar için elde edilen ϵ' -V grafiği.



Şekil 2. Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si (MFS) için 1 MHz'de farklı sıcaklıklar için elde edilen ϵ'' -V grafiği.

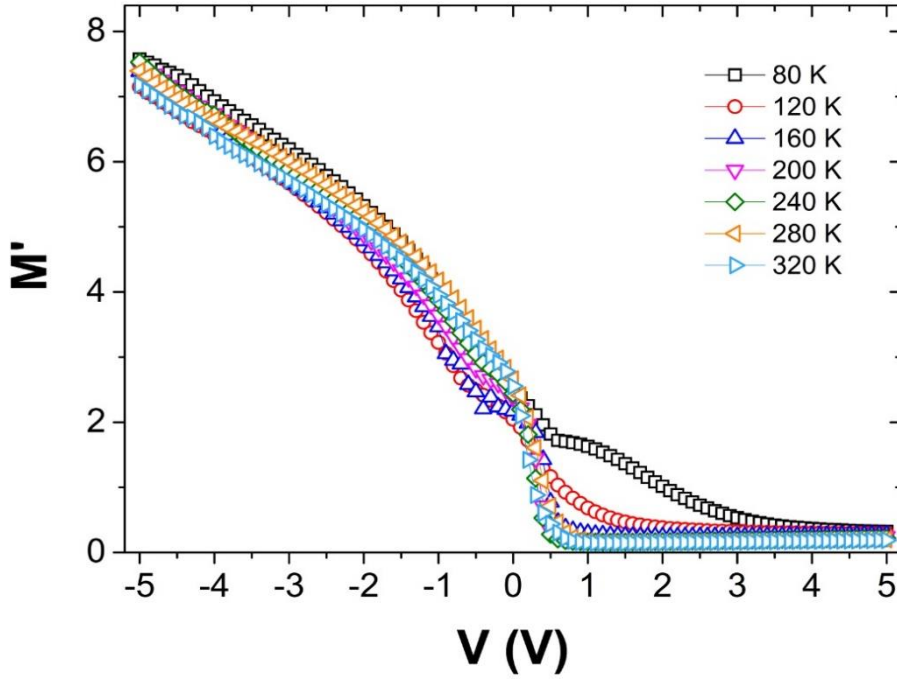
Yine her iki şekilden de görüldüğü gibi, hem ϵ' -V hem de ϵ'' -V grafikleri özellikle düşük sıcaklıklarda tükenim bölgesinde bir pik vermekte ve pikin pozisyonu azalan sıcaklıkla pozitif ileri voltajlara doğru kaymaktadır. Kompleks dielektrik sabitinin hem reel hem de imajiner kısımlarının sıcaklık ve voltajla bu şekilde değişmesi, BTO/n-Si ara yüzeyine lokalize olmuş ara yüzey durumlarının özel bir dağılımına ve

onların sıcaklık ile gerilim altında yeniden yapılanmasına atfedildi [1-7, 24-27]. Kuvvetli yığılım bölgesinde (ileri pozitif voltajlarda) ϵ' -ve ϵ'' değerlerinde görülen azalma ise genelde yapının seri direncine (R_s) ve Au ile Si arasına büyütülen ferro-elektrik ara yüzey tabakasına atfedildi. Çünkü yapı üzerine uygulanan voltaj, R_s , arayüzey tabaka ve yapı tarafından bölüşülecektir [24, 28-30]. Hazırlanan Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si (MFS) yapının 1 MHz' de farklı sıcaklıklar için Eşitlik 2' den elde edilen $\tan\delta$ -V grafiği Şekil 3' de verildi. Şekilden görüldüğü gibi, tanjant kayıp değeri, ϵ' -V hem de ϵ'' -V grafikleri gibi yaklaşık olarak aynı voltaj/gerilim bölgesinde pik vermektedir. Dolayısıyla bu pik değeri de yukarıda belirtilen aynı nedenlere atfedildi. Elde edilen bu deneysel ϵ' -V, ϵ'' -V ve $\tan\delta$ -V grafiklerinden açıkça görüldüğü gibi ϵ' , ϵ'' ve $\tan\delta$ değerleri özellikle tüketim ve yığılım bölgelerinde oldukça hem sıcaklık hem de voltaja bağlıdır.

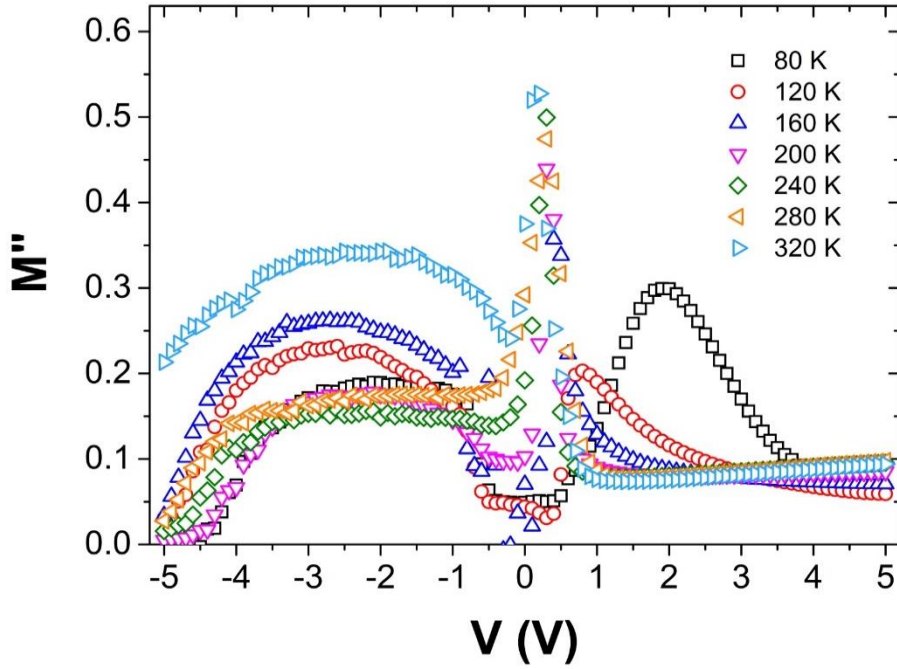


Şekil 3. Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si (MFS) için 1 MHz'de farklı sıcaklıklar için elde edilen $\tan\delta$ -V grafiği.

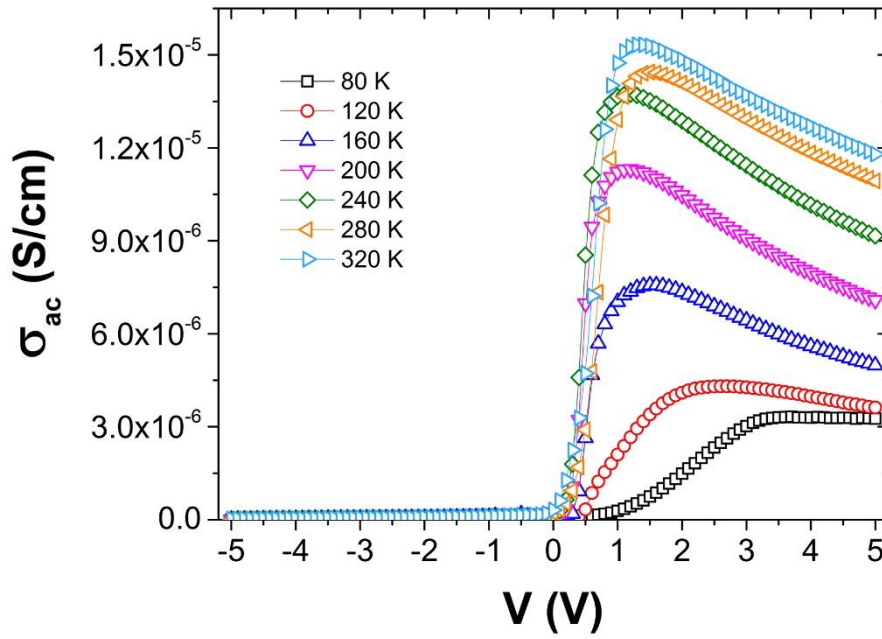
Hazırlanan MFS yapının 1 MHz' deki ϵ' -V ve ϵ'' -V grafiklerinden elde edilen elektrik modülüsün reel (M') ve imajiner (M'') kısımları Eşitlik 3 kullanılarak sırasıyla Şekil 4 ve 5'de farklı sıcaklıklar için (80-320 K) verildi.



Şekil 4. Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si (MFS) için 1 MHz'de farklı sıcaklıklar için elde edilen M'-V grafiği.



Şekil 5. Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si (MFS) için 1 MHz'de farklı sıcaklıklar için elde edilen M''-V grafiği.



Şekil 6. Au/Bi₄Ti₃O₁₂/n-Si (MFS) için 1 MHz'de farklı sıcaklıklar için elde edilen σ_{ac} -V grafiği.

Şekil 4 ve 5' den de görüldüğü gibi M' değeri artan voltajla terslenim bölgesinde yığılma bölgesine doğru her sıcaklık için azalmakta iken M'' değeri sıfır gerilim civarında bir pik vermektedir. Pikin büyüklüğü azalan sıcaklıkla azalmakta ve ileri pozitif voltajlara doğru kaymaktadır. M' ve M'' değerlerinde sıcaklık ve voltaja bağlı görülen bu değişim metal ile yarıiletken arasında (Au/n-Si) büyütülen ferro-elektrik tabakanın kutuplandığını göstermektedir [29-30]. Eşitlik 4 kullanılarak, ϵ'' değerlerinden elde edilen ac elektriksel iletkenlik (σ) (Şekil 6) değerleri beklediği gibi ϵ'' -V grafiğine oldukça benzer davranış göstermektedir. Yani hem sıcaklığa hem de voltaja oldukça bağlıdır. Bu değişimler, tükenim bölgesinde ara yüzey durumlarının/tuzakların varlığına (D_{it}) ve sıcaklığa atfedilirken yığılma bölgesindeki ise seri direnç (R_s) ve ferro-elektrik ara yüzey tabakanın varlığına atfedildi. Sonuç olarak; ϵ' , ϵ'' , M' , M'' ve σ değerlerinin azalan sıcaklıkla azalması, düşük sıcaklıklarda yeterince serbest taşıyıcının mevcut olmadığını ve artan sıcaklıkla daha çok sayıda yükün tuzaktan iletim bandına geçmesine atfedildi.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, hazırlanan metal-ferroelektrik-yarıiletken (MFS) yapıların kompleks dielektrik ($\epsilon^* = \epsilon' - j \epsilon''$), kompleks elektrik Modülüsü ($M^* = M' + jM''$) ve ac elektriksel iletkenlik (σ_{ac}) değerleri geniş bir sıcaklık aralığında (80-320 K) ve voltaj ($\pm 5V$) aralığında 1 MHz' de detaylı olarak incelendi. Elde edilen tüm bu parametrelerin hem sıcaklığa hem de voltaja oldukça bağlı olduğunu gösterdi. Deneysel sonuçlar, ϵ' -V ve ϵ'' -V grafiklerin terslenim, tükenim ve yığılma bölgelerine sahip olduğu ve ϵ' ile ϵ'' değerlerindeki sıcaklığa bağlı değişimin özellikle tükenim ve yığılma bölgesinde olduğu gözlemlendi. Sıcaklık ve voltajla meydana gelen bu değişimler, tükenim bölgesinde ara yüzey durumlarının/tuzakların varlığına (D_{it}) ve sıcaklığa atfedilirken yığılma bölgesindeki ise seri direnç (R_s) ve ferro-elektrik ara yüzey tabakanın varlığına atfedildi. Tükenim bölgesinde hem ϵ' -V hem de ϵ'' -V eğrilerinde gözlenen pik (Bi₄Ti₃O₁₂)/n-Si ara yüzeyinde ve yarıiletkenin yasak enerji bandına yerleşmiş ara yüzey durumlarının özel bir dağılımına ve sıcaklık ile dış dc elektrik alana atfedildi. ϵ' , ϵ'' , M' , M'' ve σ değerlerinin azalan sıcaklıkla azalması, düşük sıcaklıklarda yeterince serbest taşıyıcının mevcut olmadığını ve artan sıcaklıkla daha çok sayıda yükün tuzaktan iletim bandına geçmesine atfedildi. M' ve M'' değerlerinde sıcaklık ve voltaja bağlı görülen değişim, metal ile yarıiletken arasında (Au/n-Si) büyütülen ferro-elektrik tabakada dipol ve yüzey kutuplanmasının etkin olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Altındal S, Parlaktürk F, Tataroğlu A, Parlak M, Sarmasov S N and Agasiev A A 2008 *Vacuum* 82 1246.
- [2] Gökçen M and Yıldırım M 2012 *Chin. Phys. B* 21 128502.
- [3] Parlaktürk F, Altındal S, Tataroğlu A, Parlak M and Agasiev A A 2008.
- [4] Yang H, Ren Q, Zhang G, Chow Y T, Chan H P and Chu P L 2005 *Opt. Laser Technol.* 37 259.
- [5] Lin X, Guan Q F, Liu Y and Li H B 2010 *Chin. Phys. B* 19 107701.
- [6] Wu Y Y, Wang X H and Li L T 2010 *Chin. Phys. B* 19 037701.
- [7] Jo W, Cho H J, Noh T W, Cho Y S, Kwun S I, Byun Y T and Kim S H 1994 *Ferroelectrics* 152 139.
- [8] Scott J F 1998 *Ferroelectrics Rev.* 1 1.
- [9] Joshi P C, Krupanidhi S B and Mansingh A 1992 *J. Appl. Phys.* 72 5517.
- [10] Fouscova A and Cross L E 1968 *J. Appl. Phys.* 39 2268.
- [11] Simoes A Z, Gonzalez A H M, Riccardi C S, Souza E C, Moura F, Zaghete M A, Longo E and Varela J A 2004 *J. Electroceram.* 13 65.
- [12] Cui C E, Huang P and Xu T X 2006 *Acta Phys. Sin.* 55 1464.
- [13] Lue Y G, Liang X L, Tan Y H, Zheng X J, Gong Y Q and He L 2011 *Acta Phys. Sin.* 60 027701.
- [14] Shao T Q, Ren T L, Wei C G, Wang X N, Li C X, Liu J S, Liu L T, Zhu J and Li Z J 2003 *Integr. Ferroelectr.* 57 1241.
- [15] Xu Z, Goux L, Kaczer B, Vander Meerden H, Wouters D J and Ishiwara H 2004 *Top. Appl. Phys.* 93 233.
- [16] Bozgeyik MS, Cross J S, Ishiwara H and Shinozaki K 2010 *Microelectron. Eng.* 87 2173.
- [17] M Okuyama and Y Ishibashi 2005 *Ferroelectric Thin Films Basic Properties and Device Physics for Memory Applications* (New York: Springer).
- [18] Wu S Y 1974 *IEEE Trans. Electron. Dev.* ED-21 499 *Microelectron. Eng.* 85 81.
- [19] Tataroğlu A, Altındal S, Aydemir U and Uslu H 2010 *Optoelectron. Adv. Mat.* 4 616.
- [20] Lin X, Guan Q F, Liu Y and Li, H B 2010 *Chin. Phys. B* 19 107701.
- [21] Wu Y Y, Wang X H and Li L, T 2010 *Chin. Phys. B* 19 037701.
- [22] Nicollian E H and Brews J R, 1982 *MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology* (New York: Wiley).
- [23] Walter T, Herberholz R, Muller C and Schock HW, 1996 *J. Appl. Phys.* 80 4411.
- [24] Nicollian E H and Goetzberger A 1967 *Bell. System Tech. J.* 46 1055.

- [25] Yıldırım M, Erođlu A, Altındal S and Durmus P 2011 J. Optoelectron. Adv. M. 13 98.
- [26] Chattopadhyay P and Raychaudhuri B, 1993 Solid State Electron. 36 605.
- [27] Dökme 'I and Altındal S, 2011 IEEE Trans. Electron Dev. 58 4042.
- [28] Altındal S, and Uslu H 2011 J. Appl. Phys. 109 074503.
- [29] Uslu H, Dokme 'I, Afadiyeva I M and Altındal S, 2010 Surf. Interface Anal. 42 807.
- [30] Pakma O, Serin N, Serin T and Altındal S, 2009 J. Sol-Gel Sci. Technol. 50 28.