



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Schottky yapılar üzerine inceleme ve analiz çalışması

Review and analysis study on schottky structures

Yazar (Author): Serhat Orkun TAN

ORCID: 0000-0001-6184-5099

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Tan S. O., "Schottky yapılar üzerine inceleme ve analiz çalışması", *Politeknik Dergisi*, 21(4): 977-989, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.426648

Schottky Yapılar Üzerine İnceleme ve Analiz Çalışması

Derleme Makalesi / Review Article

Serhat Orkun TAN

TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Elektronik Otomasyon Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 16.03.2018 ; Kabul/Accepted : 02.05.2018)

ÖZ

Yüksek sıcaklık ve vakum altında metal ve yarı iletkenlerin sıkı kontak edilmesi durumunda oluşan metal-yarı iletken kontaklar üzerinde hala çok sayıda teorik ve deneysel çalışma yapıyor olmasına rağmen metal ve yarı iletken arasındaki bariyerin oluşumu ve iletimi mekanizmaları henüz tam olarak aydınlatılmamıştır. Bu yapılar hakkında yapılan ilk detaylı çalışmalar W. Schottky tarafından yapıldığından, bu metal-yarı iletken kontaklar genellikle Schottky diyotlar/yapılar olarak bilinir. Geçmişten günümüze farklı fiziksel, kimyasal ve elektriksel özelliklere sahip çeşitli malzemeler kullanılarak arayüzey tabakalar olmaksızın veya yalıtkan, polimer ve ferroelektrik gibi arayüzey tabakalar içeren Schottky yapıların performansı artırılmaya çalışılmıştır. Çok yüksek frekanslarda ve düşük ileri ön gerilimde çalışabilmesi ve çok hızlı anahtarlama kabiliyeti gibi diğer diyotlarda bulunmayan özellikleri, elektronik teknolojideki yaygın kullanımı ve gelişime açık teknolojiye sahip olması bilim insanlarını Schottky yapıları üzerinde çalışmaya teşvik etmektedir. Bu çalışmada, metal yarıiletken ve arayüzey tabakasına sahip metal yarıiletken Schottky yapıların bu alanda yapılan bilimsel çalışmalar da göz önüne alınarak incelenmesi, zaman içindeki gelişiminin gözlenmesi ile birlikte dünya ve Türkiye’de bu alanda yapılan akademik çalışmaların istatistiksel analizi yapılmıştır. Sonuçta, Türkiye'nin bilimsel çalışmalar bakımından dünyanın neresinde olduğunu açığa çıkartmak amaçlanmıştır. Aynı zamanda farklı MY yapılar üzerine yapılmış bilimsel çalışmaların Türkiye ve dünyada ne oranda karşılık gördüğü de ortaya konulmuştur. Web of Science veri tabanında Science Citation Index (SCI) tarafından taranan ve hem Türkiye’de hem de tüm dünyada yapılan akademik çalışmaların analizi veri madenciliği ile otomatik veri toplama yöntemleri ve Structured Query Language (SQL) sunucu yönetim stüdyosu programı kullanılarak yapılmıştır. İstatistiksel analiz sonuçları her alanda Schottky yapılar üzerine Türkiye ve dünyada yapılan akademik çalışmaların nerede ise her sene artış gösterdiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Schottky yapı, MY schottky yapılar, arayüzey tabakalı schottky yapılar, veri madenciliği, istatistiksel analiz.

Review and Analysis Study on Schottky Structures

ABSTRACT

Although quite a few number of theoretical and experimental studies are still carried out on metal-semiconductor contacts which forms in case of a tight contact of metal and semiconductor under high temperature and vacuum, the formation and transmission mechanisms of the barrier between metal and semiconductor have not yet been fully elucidated. Since the initial detailed studies about these structures were made by W. Schottky, these metal-semiconductor contacts are generally known as Schottky diodes/structures. It has been tried to improve the performance of the Schottky structures without or with interfacial layers such as insulator or polymer and ferroelectric by using various materials with different physical, chemical and electrical properties from past to present. The significant features not found in other diodes, such as its ability to operate at very high frequencies and low forward bias, and very fast switching capability, the widespread use in electronic technology, and the fact that its technology is open for development encourage scientists to study on Schottky structures. Together with the investigation of the metal-semiconductor and the metal-semiconductor with interfacial layer Schottky structures by considering the scientific studies on Schottky structures, the observation of its progress over time, the statistical analysis of academic studies in this area over the world and Turkey have been made in this study. Ultimately, it is aimed to reveal the situation of Turkey over the world in terms of scientific studies. At the same time, to what extent the scientific studies on distinct MS structures get reciprocity in the world and in Turkey is set forth. The analysis of the academic studies which are scanned by Science Citation Index (SCI) in Web of Science database and made in Turkey as well as all over the world were performed with data mining by utilizing automated data collection methods and SQL Server Management Studio program. The statistical analysis results indicate that the academic studies made for every type of Schottky structures over the world and Turkey increase for almost every year

Keywords: Schottky structures, MS schottky structures, interfacial layered schottky structures, data mining, statistical analysis

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Düşük ileri gerilimlerde çalışan ve çok hızlı anahtarlama kabiliyetine sahip olan Schottky yapılar elektronik

teknolojisinde önemli bir yer edinmiştir. Yüksek frekanslarda çalışarak iletkenlik ile yalıtkanlık durumları arasındaki geçişlere hızlı cevap verebilmesi gibi önemli avantajları sayesinde metal ile yarıiletkenin sıkı kontak edilmesiyle oluşturulan Schottky yapıların üretimi ve kullanımı yarıiletken endüstrisinde hızla yaygınlaşmıştır.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : serhatorkuntan@karabuk.edu.tr

Bu yaygın kullanımının gereği olarak metal-yarıiletken (MY) ve arayüzey tabakalı metal-yalıtkan-yarıiletken (MYY) yapılarla ilgili teorik ve deneysel birçok araştırma yapılmaktadır [1-10]. Metal ile yarıiletkenin arasında arayüzey tabaka olarak polimer kullanıldığında metal-polimer-yarıiletken (MPY), ferroelektrik kullanıldığında metal-ferroelektrik-yarıiletken veya metal-ferroelektrik/yalıtkan-yarıiletken (MFY/MFY) yapılar ve oksit tabaka kullanıldığında metal-oksit-yarıiletken (MOY) yapılar elde edilmektedir. Metal ile yarıiletken arasında farklı yöntemlerle büyütülen yalıtkan, polimer, ferro-elektrik gibi ince bir tabaka hem metali yarıiletkenden izole eder hem de onlar arasındaki yük geçişlerini düzenler. MY yapılar yarıiletken tabanlı devre elemanlarının temelini oluşturmasının yanında bu alandaki elektronik cihazların daha iyi anlaşılmasına imkân sağlamaktadır. Bu yapılar bir metal ile bir yarıiletkenin aralarında başka bir madde olmaksızın kontak durumuna getirilmesiyle meydana gelir [11,12].

MY ve arayüzey tabakalı MY veya MPY ve MFY/MFY gibi yarıiletken aygıtlar doğru ön gerilim altında akımı iletirken ters ön gerilim altında ise yarıiletken malzemeye bağlı olarak az miktarda sızıntı akımı geçirirler. Doğru ve ters ön gerilimler altındaki akımların oranı doğrultma oranını ($RR=I_F/I_R$) vermektedir. Diyot performansı bu oranın ne kadar yüksek olmasına bağlıdır. İdeal bir Schottky diyotta yeterince ileri/doğru ve ters gerilimlerdeki akım oranları $\geq 10^{10}$ civarındadır [1]. Arayüzey tabakalı ve tabakasız MY yapılar hazırlanırken, metal ile yarıiletken arasında bir potansiyel engel yüksekliğinin oluşması için yarıiletkenin iş fonksiyonuna uygun iş fonksiyonlu metaller seçilmelidir. Genellikle yüksek saflıkta altın (Au), gümüş (Ag) ve alüminyum (Al) gibi metallere oluşan bu tip kontaklara Schottky veya doğrultucu ön kontaklar denilir. P-tipi bir yarıiletken de doğrultucu kontak oluşması için metalin iş fonksiyonu (ϕ_m) yarıiletkenin iş fonksiyonundan (ϕ_s) küçük olması ($\phi_s > \phi_m$) gerekir. Arka omik kontak oluşturmak için p-tipi yarıiletkende $\phi_m > \phi_s$ durumu geçerlidir ve bu kontakın düşük dirençli olması için mutlaka kaplandıktan sonra uygun sıcaklıkta tavlama yapılması gereklidir. N-tipi yarıiletkende doğrultucu kontak oluşumu için $\phi_m > \phi_s$, omik kontak oluşumu için ise $\phi_s > \phi_m$ olması gerekmektedir [1]. Yarıiletken aygıtların yapımında, genelde hammaddesi doğada çok bulunan, daha ekonomik ve yüksek sıcaklıklarda daha kararlı olduğu içi silisyum (Si) kullanılmaktadır.

MY diyotlar ile yapılan ilk doğrultma işlemi 1874'te Braun tarafından kurşun sülfür ve demir sülfür yarıiletkenleri üzerinde metal nokta kontaklar kullanılması ile gerçekleştirilmiştir [2]. İlk MY yapı olan bu kontakların geliştirilmiş hali olan Schottky engel diyotlarında metal ile yarıiletken arasında vakum olup eklem bölgesindeki kontak potansiyeli ve akım dağılımı homojendir. MY yapılar ile yapılan pratik uygulamalardan çok sonra 1914 yılında Schottky tarafından bulunan metal- vakum sistemlerde imaj kuvvet etkisiyle engel alçalması olayı bu yapıların teorik

olarak açıklanmasını sağlamıştır. Metal ile yarıiletken arasında oluşan engelin hesaplanması aynı yıllarda Schottky ve Mott tarafından birbirinden bağımsız olarak ispatlanmıştır [1-4]. Schottky ve Mott'un bu buluşu yaklaşık elli yıl kadar sonra 1964 yılında Sze ve arkadaşları tarafından doğrulanmıştır [13]. Schottky, Störmer ve Waibel 1931 yılında yaptıkları bir araştırma ile akım etkisi ile kontakın bütününe meydana gelen gerilim düşümünü bir engel yüksekliğinin varlığı ile açıklayarak MY kontaktarın daha iyi anlaşılmasına imkân sağlamışlardır [13].

MY Schottky yapıların elektrik alan altındaki akım-iletim mekanizmalarını belirlemek son derece önemlidir. Schottky yapıların performansını etkileyen MY arasındaki arayüzey tabaka, polarma yönü, sıcaklık, yarıiletken çeşidi, seri direnç ve arayüzey durumları gibi unsurlar göz önüne alındığında hangi akım-iletim mekanizmasının kullanılacağını belirlemek zorlaşmaktadır. MY ve arayüzey tabakalı MY yapıdaki kontaklarda başlıca akım-iletim mekanizmaları, termiyonik emisyon (TE) teorisi, difüzyon teorisi, termiyonik emisyon-difüzyon (TED) teorisi, kuantum mekaniksel tünelleme (termiyonik alan emisyonu (TAE), alan emisyonu (AE) ve çok katlı tünelleme), uzay yük bölgesinde rekombinasyon olarak sıralanabilir. TE teorisi potansiyel engelin tepesini yeteri kadar termal enerji kazanarak aşan elektronların iletimi şeklinde ifade edilebilir. Difüzyon teorisi yoğunluk farkı bulunan bölgeler arasında, yüklerin yoğunluğunun çok olduğu bölgeden az olduğu bölgeye geçmesi mantığı ile oluşturulmuştur. Bu modelde doyma akım yoğunluğu voltaja bağlı olarak daha çabuk değişir fakat sıcaklığa bağlılığı TE teorisindeki doyma akım yoğunluğuna göre daha küçüktür. TED teorisi metal-yarıiletken arayüzeyi yakınında tanımlanan termiyonik rekombinasyon hızının sınır şartlarından faydalanılarak elde edilmiştir. TAE veya AE mekanizması yüksek katkılanmış yarıiletkenler ve düşük sıcaklıklar için uygun bir modeldir. Uzay yük bölgesinde birleşme yüksek katkılı yarıiletkenler ile çoğu omik kontaklar için uygun bir modeldir ve doğal bölgede enjeksiyon mekanizmasını ifade eder [1,2]. Richardson tarafından TE olayının metal vakum sistemleri için bulunmasından sonra MY yapılarda uygulanabilirliği 1942 yılında Bethe tarafından açıklanmıştır [14]. 1966 yılında ise Crowel ve Sze, Schottky'nin termiyonik emisyon ve Bethe'nin difüzyon teorilerini derleyerek TED teorisi adı altında tek bir teoriyi oluşturmuşlardır [15].

MY arayüzeyinin karakteri ile bağlantılı olarak oluşturulan kontakların davranışı Schottky veya doğrultucu kontak ve omik kontak olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Oluşturulan kontaklarda elektronların hareketi kontak durumlarını da belirler. Hem MY hem de MIY tipi Schottky yapılarda, bir yöndeki elektron hareketi düşük potansiyel engeli neticesinde (doğru öngerilim) oldukça kolay olurken diğer yönde potansiyel engelin artması neticesinde (ters öngerilim) oldukça zorlaşıyorsa "doğrultucu kontak" durumu, her iki yönde de elektronlar serbest hareket

edebiliyor ise “omik kontak” durumu meydana gelmektedir. Ancak p-n eklem üretiminde birçok farklı yöntemin geliştirildiği 1950’li yıllarda MY kontaklar akım iletiminde omik kontak olarak değerlendirilmiştir. 1960’lar ise Schottky yapıların gelişimi üzerine yapılan araştırma çalışmalarının bir hayli arttığı yıllardır. Bu yıllarda Schottky engel diyotların uygulama alanı genişlemiştir. Bu gelişimin en önemli örneğini 1964 yılında silisyum transistörle Schottky engelini birleştiren ve Schottky engel kapılı MY alan etkili transistörü bulan Baird vermiştir [16]. Schottky yapıların arayüzey hallerinin göz önüne alındığı ilk teorik çalışmada 1965 yılında Heine metal tipine bağlı iki olası arayüzey durumunun varlığına işaret etmiştir. Bu durumlardan ilkinin yarıiletken kaynaklı gerçek durum ikincisi ise metalden kaynaklı zahiri durum olarak adlandırmıştır [17]. Bu durumu takiben 1969 yılında Crowell ve Roberts Au/n-Si Schottky yapılarında arayüzey halleri enerji dağılımları eğrilerini kapasitans-voltaj (C-V) karakteristiğinden elde etmişler ancak bu eğrilerin akım-voltaj (I-V) karakteristik eğrisi ile uyumunu dikkate almamışlardır [18]. 1970’ler daha önceki çalışmaların ışığında Schottky engel diyotların elektronik teknolojisinde kullanımına yönelik endüstriyel üretimlerin gerçekleştirildiği yıllardır. Aynı zamanda bu yıllarda MY arayüzeyinin daha iyi anlaşılması adına çalışmalar hız kazanmıştır. Schottky ve Mott engel oluşumunun mekanizmasını izah etmişler ve engel yüksekliğinin ve şeklinin hesaplanması adına yeni modeller önermişlerdir. 1971 yılında yaptıkları çalışmalarda Card ve Rhoderick düz beslem I-V verilerini kullanarak idealite faktörü (n) değerine bağlı arayüzey hallerinin metal veya yarıiletken ile dengede olduğunu ortaya koymuşlardır [19]. Yine aynı yıl Levine çalışmasında Schottky engel yüksekliği ve arayüzey halleri enerji dağılımlarının kontrolünün uygulanan gerilim ile sağlanabileceğini öne sürerek I-V karakteristiğinden Au/n-GaAs yapıların arayüzey durumları enerji dağılımlarının eğrilerini elde etmiştir [20]. 1977 yılında ise Borrego ve arkadaşları, I-V ve C-V verilerini birlikte değerlendirerek metal ile dengede olan arayüzey halleri enerji dağılımlarını belirlemek için arayüzey tabakası etkisinin göz ardı edildiği bir metot geliştirmişlerdir [21]. Cowley ve Sze’nin arayüzey tabakası teorisi 1980 yılında Wu tarafından geliştirilerek potansiyel engelin pozitif yüzeyde yük artışı ile azaldığı ve arayüzey tabakası üzerindeki potansiyelin idealite faktöründe artışa neden olduğunu bulmuşlardır [22]. MY yapıların karakteristiğini 1983 yılında sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçen Chandra ve Prasad, bu yapıları sıcaklığın belirlenmesi amacıyla kullanmışlardır [23]. Arayüzey halleri yoğunluğu belirlenmesi amacıyla Gomila ve Rubi, 1997 yılında yarıiletken eklemdeki taşıyıcıların yer değişimlerini inceleyerek bir bağıntı ortaya çıkarmışlardır. Bu bağıntı ile idealite faktörü için doğru beslemede tüm beslem boyunca geçerli olacak bir analitik ifade bulmuşlardır [24]. 50 MeV Ni iyon ışınmasının Au/n-GaN Schottky diyotuna etkisi akım voltaj karakterizasyonu ile Baranwall ve arkadaşları

tarafından 2009 yılında incelenmiştir. İyon ışınlaması ile Schottky parametrelerinin değişimi, ışınlama akışkanlığını 5×10^9 ila 5×10^{11} iyon cm^{-2} arasında değiştirerek tartışılmıştır. Sonuç olarak metal-yarıiletken arayüzünde hızlı ağır iyon (SHI) ışınlamasının enerji kaybı mekanizmalarına dayandığı şeklinde yorumlanmıştır. [25]. 2014 yılında Hamdaoui ve arkadaşları Metal /n-InAlAs Schottky diyotların I-V karakteristiklerini 90-300 K sıcaklık aralığında belirlemiş ve doyma akımı, idealite faktörü ve seri direnç değerlerini hesaplamışlardır. Sonuçta sıcaklık artışı ile birlikte Schottky engel yüksekliğinde artış ve idealite faktöründe azalma tespit edilmiştir. [26]. 2017 yılında Vali ve arkadaşları, elektron demeti ışınlamasının (EBI) Al /n-Si Schottky yapıya etkisini oda sıcaklığında I-V karakterizasyonu ile incelenmişlerdir. MY arayüzünün davranışı, Schottky engel yüksekliği, idealite faktörü ve seri direnç gibi MY temas parametrelerindeki varyasyonlar vasıtasıyla analiz edilmiş ve bu parametrelerin 7.5 meV sabit bir enerjiye sahip EBI dozuna bağlı olduğu bulunmuştur. Dikkat çekici bir şekilde, engel yüksekliğinin ayarlanması EBI dozunun bir fonksiyonu olarak gözlemlenmiştir. MY arayüzünde Schottky temas davranışına katkıda bulunan kalınlık değişimi tartışılmıştır. Bu çalışma, elektron demeti ile ışınlanmış n-Si tabakalar üzerindeki metal birikimi ile Schottky temas parametrelerini ayarlamak için yeni bir tekniği açıklamaktadır [27].

Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (MYY) yapılar, doğal yöntemler kullanılarak ya da yapay oksidasyon yöntemi ile metal ve yarıiletken tabakalar arasında yalıtkan bir tabaka oluşturulması suretiyle elde edilmektedir. Bu yalıtkan tabakanın kalınlığı yaklaşık 100-200 Å altında ise MYY, üstünde ise metal oksit yarıiletken (MOY) yapılar veya kapasitörler olarak adlandırılmaktadır. MOY yapılar MYY yapılarından farklı olarak arayüzey tabakanın kalınlığından dolayı genellikle kapasitör özelliği göstermektedir. Başka bir ifadeyle, yükleri iletmekten ziyade depolarlar ve çok miktarda yük depolaması çok miktarda enerji depoladığı anlamına gelmektedir. Genellikle silisyum-dioksit (SiO_2), kalay-dioksit (SnO_2) gibi bileşikler metal ile yarıiletken arasında yalıtkan görevini üstlenerek metal ve yarıiletkeni birbirinden izole ederken, yük geçişlerinin de düzenlenmesini sağlamaktadır [28-33]. Hudait ve Krupanidhi, 2000 yılında yaptıkları çalışmada galyum arsenik (GaAs) tabanlı MYY Schottky yapıların I-V ve C-V özelliklerini MY diyotlar ile karşılaştırmıştır. MYY yapıların I-V karakteristiğinde 1.17 idealite faktörü ve 0.97 eV engel yüksekliği ideal olmayan davranış gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca doyma akımındaki azalmanın, ince bir oksit tabakasından ve artan engel yüksekliği ve Richardson sabitindeki azalmanın kombinasyonundan kaynaklandığı belirtilmiştir [34]. Kılıçoğlu ve Aşubay 2005 yılında oksit ara yüzeye sahip MOY tipi Schottky engel diyotun tüm elektriksel parametrelerinin referans diyottan yüksek olduğunu rapor etmişlerdir [35]. 2009 yılında Tataroğlu ve Altındal yaptıkları çalışma ile Au / SiO_2 /n-Si (MYY) Schottky

yapıların 300-400 K sıcaklık aralığında ileri ve ters beslem I-V karakteristiklerini ölçmüşlerdir. İdealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç gibi elektriksel parametrelerin sıcaklık bağımlılığını düz beslem I-V ölçümlerinden çıkarmışlardır. Ayrıca, yarıiletken yüzeyinde arayüzey durumları enerjisi ile iletkenlik bandının bir fonksiyonu olarak arayüz durumları yoğunluğunu I-V ölçümlerinden elde etmişlerdir. Deneysel sonuçlar ile bu parametrelerin sıcaklığın kuvvetli bir fonksiyonu olduğunu ortaya koymuşlardır [36]. 2012 yılında Chen ve arkadaşları La_2O_3 izolatör kullanarak MYY tabanlı Schottky-diyot hidrojen sensörü imal etmişlerdir. Akım voltaj özellikleri, engel yüksekliği gibi elektriksel özellikler ve hidrojen algılama performansı 25 °C ile 300 °C arasında farklı konsantrasyonlarda H_2 'ye karşı incelenmiş ve sonuç olarak 260 °C çalışma sıcaklığında cihazın hassasiyetinin 10.000 ppm hidrojen gazına göre maksimum 4,6 değerine ulaşabileceğini ve tepki süresi 20 saniyeye ulaştığını göstermişlerdir [37]. 2015 yılında Tuan ve arkadaşları Pt/SiO₂/n-tipi indiyum galyum nitrid (InGaN) MOY diyotlar üzerine yaptıkları çalışmada MOY diyotların elektriksel özelliklerini I-V ve C-V ölçümleri kullanılarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak azot ortamında 15 dakika boyunca 400 °C' de tavlama sonucunda, Schottky engel yüksekliğinin 0.67 eV'ye (I-V) ve 0.82 eV'ye (C-V) yükseldiğini göstermişler ve kaçak akımında önemli ölçüde düştüğünü ortaya koymuşlardır [38]. 2016 yılında Tan ve arkadaşları ürettikleri Au/ZnO/n-GaAs MYY tipi Schottky yapısının oda sıcaklığında farklı ışık yoğunlukları altında akım-voltaj özelliklerini incelemişlerdir. Ters ve doğru beslem akımlarındaki davranışlar incelendiğinde imal edilen diyotun fotodiyot özelliği sergilediğini belirtmişlerdir. Aydınlatmadan sonra idealite faktöründeki artışı MY arayüzündeki homojensizliğe atfetmişler ve arayüzey durumlarının enerji dağılımının artan aydınlatma seviyesi ile arttığı ve seri dirence bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir [39].

MPY ve MFY/MFY yapının elektriksel özellikleri metal yarıiletken arasındaki arayüzey özelliklere, yalıtkan/polimer arayüzey tabaka oluşumuna, Schottky engel yüksekliğindeki homojensizliğe ve seri dirence de bağlı olduğundan MYY yapılar ile benzerlik göstermektedir [4]. Yarı iletken yüzeyi ve metal yarıiletken arası yalıtkan/organik/ferroelektrik tabakanın kalitesi yük geçişlerinin düzenlenmesini sağladığı gibi Schottky engel diyotun performansını da önemli ölçüde etkilemektedir. Arayüzey tabakası olarak genellikle yüksek dielektrik sabitli, yüzeyi pasifize edebilecek, kontrollü akım iletim mekanizmasına sahip ve sızıntı akımını en aza indirecek malzemelerin seçimine dikkat edilmelidir [40-43]. Bu özelliklere sahip yalıtkan malzemelere SiO₂, TiO₂, SnO₂ ve Si₃N₄, organik malzemelere ise poli-indol, poli-anilin ve poli-vinil alkol (PVA) örnek verilebilir. Schottky yapıların elektriksel özelliklerinin modifikasyonu amacıyla son yıllarda yapılan birçok çalışmada arayüzey malzemesi olarak organik yarıiletkenler tercih edilmiştir [44-48]. Organik

yarıiletkenlerin tercih edilmesindeki en önemli sebepler farklı kaplama teknikleriyle tek seferde oldukça fazla üretim yapılabilmesi, ucuz maliyeti, esnek ve bükülebilir yapısı, zarar eşliğinin yüksek olması ve yüksek nonlineerlik olarak sıralanabilir. Bu önemli özellikleri ile organik yarıiletkenler Schottky yapıların yansırı organik alan etkili transistörler (OLED), organik ışık yayan diyotlar (OLED), güneş pilleri gibi elektronik ve optoelektronik alanlarındaki uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. [47,48]. Yakuphanoglu ve arkadaşları 2008 yılında Schottky yapılarında organik arayüzey tabakası kullanıldığında diyotun elektriksel parametrelerinin ve diyotun arayüzey özelliklerinin değiştiğini göstermişlerdir [49]. Vural ve arkadaşları (2010), yaptıkları çalışmada Al/Rhodamine/n-GaAs MPY yapı kullanılmış ve 80-350 K sıcaklık aralığında I-V karakteristiği incelenmiştir. Sıcaklık artışları ile birlikte idealite faktöründe azalma, engel yüksekliğinde artma olduğu gözlemlenmiştir [50]. Tecimer ve arkadaşları (2013), çinko (Zn) katkılı PVA organik arayüzey kullanılmış ve ileri ve ters öngerilimlemede 80-350 K sıcaklık aralığında 30K aralıklarında I-V karakteristiği incelemişlerdir. Sıcaklık artışları ile birlikte idealite faktörü 12.85'ten 2.8 'e düştüğü, engel yüksekliğinin de 0.145'ten 0.606'ya çıktığı gözlemlenmiştir [41]. Çiçek ve arkadaşları 2016 yılında yaptıkları çalışmada geniş aydınlatma şiddeti aralığında oda sıcaklığında Au/n-GaAs MY Schottky, Au/ PVA/n-GaAs ve Au/Gr-doped PVA/n-GaAs MPY Schottky yapıların I-V karakteristiklerini incelemişler ve grafen katkılı PVA arayüzeyinin Schottky yapının kalitesini önemli ölçüde geliştirdiğini gözlemlenmişlerdir [48]. Alan etkili transistörlerin (FET) çeşitli ferroelektrik malzemelerin Si üzerinde büyütülmesi ile direkt veya bir dielektrik tabakanın eklenmesiyle dolaylı olarak elde etmek adına 1950'li yılların sonlarına doğru MFY ve MFYY yapılar sıklıkla araştırılmıştır [51-53]. Dikkat çekici fiziksel özellikleri sayesinde ferroelektrik malzemeler üzerine yapılan araştırmalar son on yılda yoğunluk kazanmıştır. Ferroelektrik ince filmler ile geliştirilen ve FeRAM (ferroelectric random-access memories) kararlı hafıza ortamı güç kaynağına ihtiyaç kalmadan bilgi saklayabilir [54]. Tipik bir ferroelektrik malzeme olan bizmut titanat ($\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$), piezoelektrik, optik hafızalar, FeRAM'lar ve elektro-optik cihazlarda tercih edilmektedir [55,56]. MOY yapıların çeşidi olan MFY yapıların oluşturmalarındaki uyumsuzluklar sebebiyle yüzey problemlerine çözüm olarak iç difüzyonu önleyen, yük geçişlerini düzenleyen ve elektrik alanda azalmayı engelleyen SiO₂, Si₃N₄, SnO₂ vb. ince yalıtkan tabakalar doğal ya da yapay bir oksidasyon yöntemi ile BTO/Si arayüzeylerine eklenerek MFYY yapılar oluşturulmuştur. MFYY yapıda bulunan ferroelektrik tabakanın MOY kapasitöre hafıza özelliği kazandırdığı bilinmektedir [57,58]. Okuyama ve arkadaşları 2001 yılında yaptığı çalışma ile bir MFYY yapısının yalıtkan ve ferroelektrik tabakalar içerisindeki akımları dikkate alarak elektriksel özelliklerini araştırmak için basit bir model türetmişlerdir. Modele

dayalı simülasyonlar ile MFYY' deki ferroelektrik tabaka için Schottky bariyer yüksekliğinin hafifçe artmasıyla hafıza tutma özelliklerinin çok daha iyi olabileceğini gösterdi [59]. 2008 yılındaki bir başka çalışmada ise MFYY yapılarının arayüzey durum yoğunluğu (N_{ss}) ve seri direncin (R_s) etkileri Altındal ve arkadaşları tarafından sıcaklığın bir fonksiyonu olarak araştırılmıştır. 80- 400 K sıcaklık aralığında ileri ve geri doğru öngerilim C-V ve kondüktans-voltaj (G/ω -V) özellikleri ölçülmüştür. Deneysel ölçümler ve analizler hem kapasitans hem de iletkenliklerin özellikle yüksek sıcaklıklarda sıcaklık ve voltaja oldukça bağlı olduğunu göstermektedir. Sıcaklığa bağlı C-V ve G/ω -V özellikleri, R_s ve N_{ss} ' in MFYY yapılarının elektriksel özelliklerini güçlü bir şekilde etkileyen önemli parametreler olduğunu teyit etmektedir [60]. Au/Bi₄Ti₃O₁₂/SiO₂/ n-Si (MFYY) yapısının arayüz durumlarının dağılım profilleri ve durulma zamanı 2011 yılında Bülbül ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ile C-V ve G/ω -V özelliklerinden elde edilmiştir. Yapının iyi rektifiye edici özelliklere sahip olduğu ise I-V karakteristiğinden elde edilen deneysel değerler ile ortaya konulmuştur. Arayüz durumlarının yoğunluğu ve dinlenme zamanı, valans bandının tabanından Si' nin orta boşluğuna kadar artan enerji ile artmaktadır [61]. 2017 yılında Çetinkaya ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada elektriksel parametrelerin dağılımını belirlemek için aynı p-Si yapı üzerinde toplam 58 diyot Al/Bi₄Ti₃O₁₂/p-Si (MFY) yapısı şeklinde hazırlandı. Literatürle uyumlu olarak, C-V verileri, I-V verilerine göre daha yüksek (bariyer yüksekliği) BH değerlerini ortaya koymuştur. 58 diyot verilerinin istatistiksel analizi sırasıyla 0.716 eV ve 0.818 eV olarak BH' nin ortalama değerlerini vermiştir. Bahsedilen bulgularla birlikte, R_s ' nin makul ortalama değeri Al/Bi₄Ti₃O₁₂/p-Si' nin umut verici bir diyot yapısı olduğunu düşündürmektedir [62].

Bu önemli özellikleri ile elektronik teknolojisinde gelişime açık bir alan olduğundan gerek Türkiye'de gerek diğer ülkelerde Schottky yapılar üzerine yapılan akademik çalışmalar her yıl artış göstermektedir. Özellikle son yıllarda hem MY yapılar hem de arayüzey tabakalı MYY, MOY, MPY VE MFY/MFYY yapılar üzerine birçok akademik çalışma literatüre eklenmiştir [63-70]. Bu çalışmanın önemli bir diğer amacı da Schottky yapıları incelerken aynı zamanda Schottky yapılar üzerine yapılmış akademik çalışmalardan elde edilen verilerin istatistiksel dağılımını göstermek suretiyle araştırmaların artma oranını, yayın yıllarını ve son yıllarda daha fazla odaklanan alanları bulmak için Türkiye'de ve dünyada bu alandaki akademik çalışmaları analiz etmektir. Bu analiz ile birlikte Türkiye'nin bilimsel çalışmalar bakımından dünyanın neresinde olduğunu ve farklı yapılar üzerine yapılmış bilimsel çalışmaların Türkiye ve dünyada ne oranda karşılık gördüğünü saptamak mümkün olacaktır. Web of Science veri tabanından veri elde etmek için Otomatik Veri Toplama Yöntemleri kullanılmış ve SQL sunucu yönetim stüdyosu programı ile istatistiksel analizler yapılmıştır. Schottky yapıların farklı yapıları üzerine yapılan

akademik çalışmaların her yıl artış göstermesi Türkiye'de araştırmacıların bu alana gösterdiği ilgiyi de ortaya koymaktadır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Web of Science veri tabanındaki verilere bağlı olarak, bilginin otomatik olarak alınması, herhangi bir yeni veri yerleştirildiğinde periyodik olarak panoyu okumak için veri toplama programını kullanan bir veri alma yöntemi ile yapılmıştır. Program aracılığıyla, her yeni veri aramasında, önceden belirlenmiş kriterlere uyulup uyulmadığı kontrol edilmektedir. Buna ek olarak, program ölçütleri karşılıyorsa, verilere dayalı bir web tabanlı arama gerçekleştirilerek veri alımı başlatılmaktadır. Kriterler karşılanmazsa, program veri alımını gerçekleştirilemez [71]. Web of Science veri tabanından veri çıkarımı ve SQL sunucu yönetim stüdyosu ile istatistiksel analiz, Otomatik Veri Toplama Yönteminin çalışma mantığı aracılığıyla yapılmıştır. Akıllı şebeke üzerinde yapılan araştırmaların istatistiksel dağılımları ve verilerin analiz değerleri Excel Power Pivot'a aktarılarak analiz sonuçları görüntülenmiştir. Web of Science'dan yapılan veri toplama işleminin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir [71].



Şekil 1. Web of Science'dan yapılan veri toplama işleminin şematik gösterimi (Schematic representation of data collection from Web of Science) [71].

Çalışmada odaklanılan anahtar kelimeler, bu alandaki herhangi bir yayını atlamamak adına Web of Science veri tabanına MY ve arayüzey tabakalı MYY ve MPY yapılarına ek olarak MOY yapılar için olası tüm sözcük dizilerinin kombinasyonu şeklinde girilmiştir.

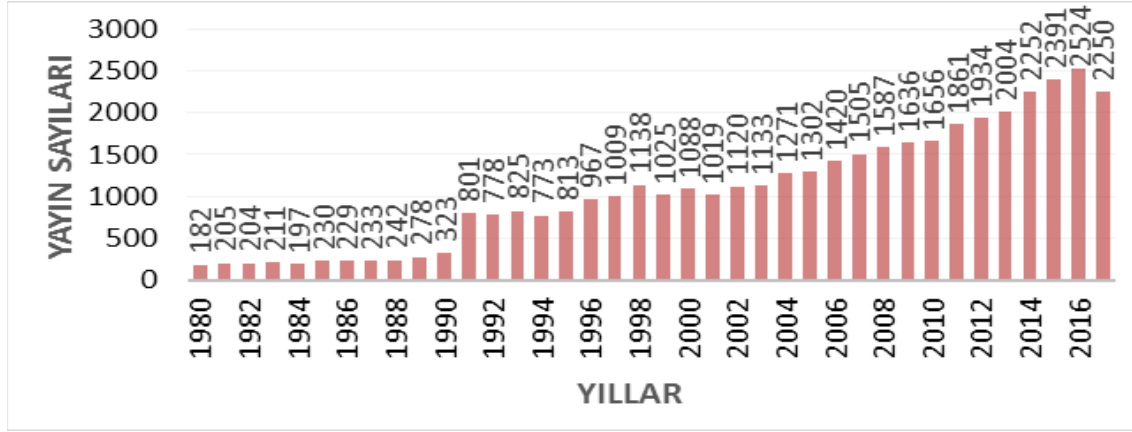
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Birçok elektronik devreler ve cihazlar Schottky kontak veya omik kontak olarak MY arayüzeyini kullanmaktadırlar. Geçmişte mikro dalga diyeti ve radyo ve radar dedektörü olarak geliştirilen MY yapılar şimdilerde metal-yarıiletken alan etkili transistörler (MESFET) gibi aktif devre elemanlarının yansıra güneş pilleri, varaktörler ve anahtarlama devreleri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı

malzemeler ve yapılar oluşturularak gelişime açık olması ve uygulama sahasının her geçen zaman genişlemesi araştırmacıları Schottky yapılar üzerine çalışmaya yönlendirmektedir. Dünya üzerinde MY Schottky yapılar üzerine yapılan akademik çalışmaların sayısı her geçen yıl artış göstermektedir. Şekil 2'de dünya üzerinde geçmişten günümüze MY Schottky yapılar üzerine yapılan ve Web Of Science veri tabanında yer alan akademik çalışma sayılarının yıllara göre dağılımı verilmiştir.

alan akademik çalışma sayılarının yıllara göre dağılımı verilmiştir.

Özellikle son 10 yılda Türkiye'de MY Schottky yapılar üzerine yapılan akademik çalışmaların artış gösterdiği Şekil 3'te açıkça görülmektedir. 2014 ve 2015 yıllarında en üst seviyeye ulaşan Türkiye'de yapılmış yayın sayılarının dünya geneline oranla geride kaldığı gözlemlenmiştir. Ancak son 10 yıla bakıldığında, dünyada bu alandaki Web of Science veri tabanında yer alan her yüz yayından beşinin Türkiye'den çıktığı

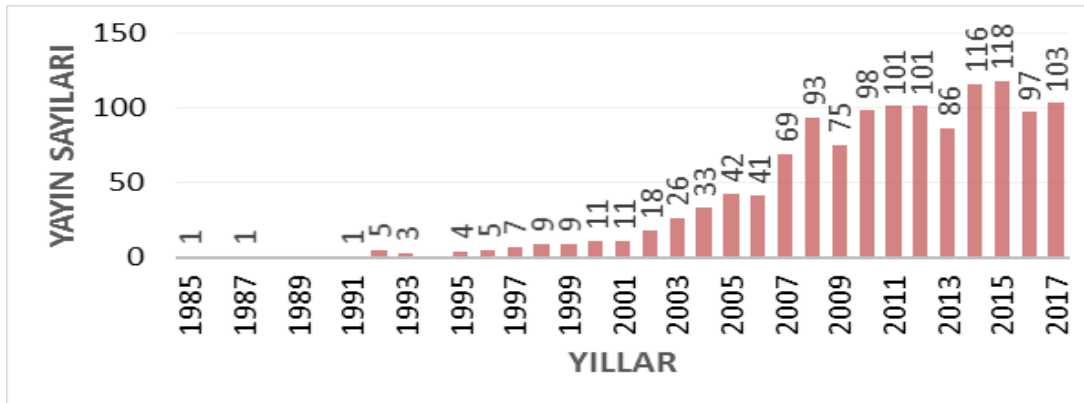


Şekil 2. Dünyada MY Schottky yapılar üzerine yapılan ve Web Of Science veri tabanında yer alan akademik çalışma sayılarının yıllara göre dağılımları (Distribution of the number of Web of Science database indexed academic studies on MS Schottky structures in the world by years).

Şekil 2'de açıkça görüldüğü üzere 2018 yılına ait yayınlarda dikkate alınırca MY Schottky yapılar üzerine kırk bini aşkın yayının Web of Science veri tabanında tarandığı gözlemlenmektedir. Ayrıca dünya üzerinde 2000'li yıllar ile birlikte bu alanda yapılan çalışmalara ilginin arttığı ve yapılan yayınların hemen hemen her yıl artış gösterdiği görülmektedir. Türkiye, Schottky yapılar ile ilgili bilimsel araştırmaların ve akademik çalışmaların yoğun olarak yapıldığı bir ülke olarak dikkat çekmektedir. Şekil 3'te Türkiye'de MY Schottky yapılar üzerine yapılan ve Web Of Science veri tabanında yer

belirlenmiştir.

Metal yarıiletken arasına yalıtkan tabaka eklendiğinde MYY yapılar oluşmakta olup organik polimerlerin ve ferroelektrik malzemelerin arayüzey tabakası olarak kullanıldığı zaman MPY ve MFY/MFY yapılar olarak isimlendirildiği bilinmektedir. Dünya çapında, MYY, MPY ve MFY/MFY Schottky yapılar üzerine yapılan ve Web Of Science veri tabanında yer alan akademik çalışmaların yıllara göre dağılımı Şekil 4.a ve Şekil 4. b'de gösterilmektedir



Şekil 3. Türkiye'de MY Schottky yapılar üzerine yapılan ve Web Of Science veri tabanında yer alan akademik çalışma sayılarının yıllara göre dağılımları (Distribution of the number of Web of Science database indexed academic studies on MS Schottky structures in Turkey by years)

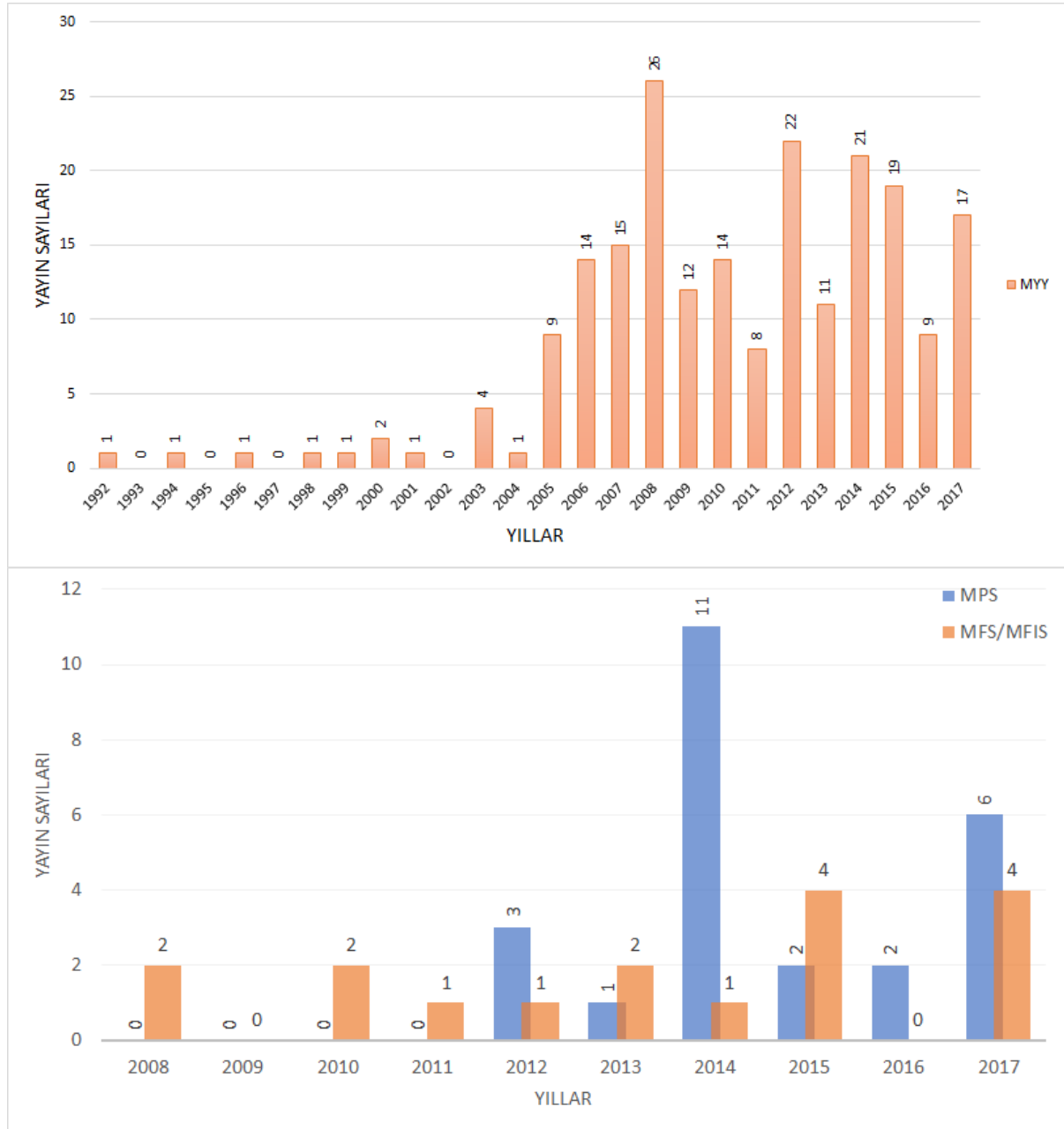


Şekil 4. Dünyada a) MYY b) MPY ve MFY/MFY Schottky yapılar üzerine yapılan ve Web Of Science veri tabanında yer alan akademik çalışma sayılarının yıllara göre dağılımları (Distribution of the number of Web of Science database indexed academic studies in the world on a) MIS b) MPS and MFS/MFIS Schottky structures by years).

Şekil 4'te görüldüğü üzere MY yapılarda olduğu gibi MYY yapılar üzerine yapılan akademik çalışmaların sayısı 2000'li yıllar ile birlikte artış göstermiş ve özellikle 2000 yılı ve sonrasında her yıl belirli sayıda çalışmalara devam edilmiştir. Ancak MY yapılar üzerine yapılan çalışmalara oranla MYY üzerine yapılan akademik çalışmaların sayısı bir hayli az olduğu görülmektedir. Bu durum arayüzey tabakasından kaynaklanan ve Schottky yapının kalitesini olumsuz etkileyen faktörlerden dolayı araştırmacıların MYY yapı üzerine çalışmayı daha az tercih etmesi olarak açıklanabilir. Öte yandan dünyada özellikle MPY yapılar üzerine yapılan akademik çalışma sayısı her ne kadar son yıllarda artsa bile bir hayli az olduğu görülmektedir. Bu durum MY yapılarda arayüzey

tabakası organik polimer kullanımının yeni bir alan olmasına atfedilmek ile birlikte gelecek yıllarda bu alanda yapılacak çalışmaların artacağı düşünülmektedir. Dünya üzerinde MFY/MFY yapılar üzerine yapılan akademik çalışma sayısı ise 2000 yılı ile birlikte artış göstermesine rağmen son yıllarda yapılan yayın sayılarının azalmasıyla bu alana olan ilginin azaldığı düşünülmektedir.

Arayüzey tabakasına sahip Schottky yapılar üzerine yapılan ve Web of Science veri tabanında taranan Türkiye'deki akademik çalışmaların yıllara göre dağılımı MYY, MPY ve MFY/MFY yapılar için Şekil 5. a ve Şekil 5. b'de gösterilmektedir



Şekil 5. Türkiye’de a) MYY b) MPY ve MFY/ MFYY Schottky yapılar üzerine yapılan ve Web Of Science veri tabanında yer alan akademik çalışma sayılarının yıllara göre dağılımları (Distribution of the number of Web of Science database indexed academic studies in Turkey on a) MIS b) MPS and MFS/MFIS Schottky structures by years).

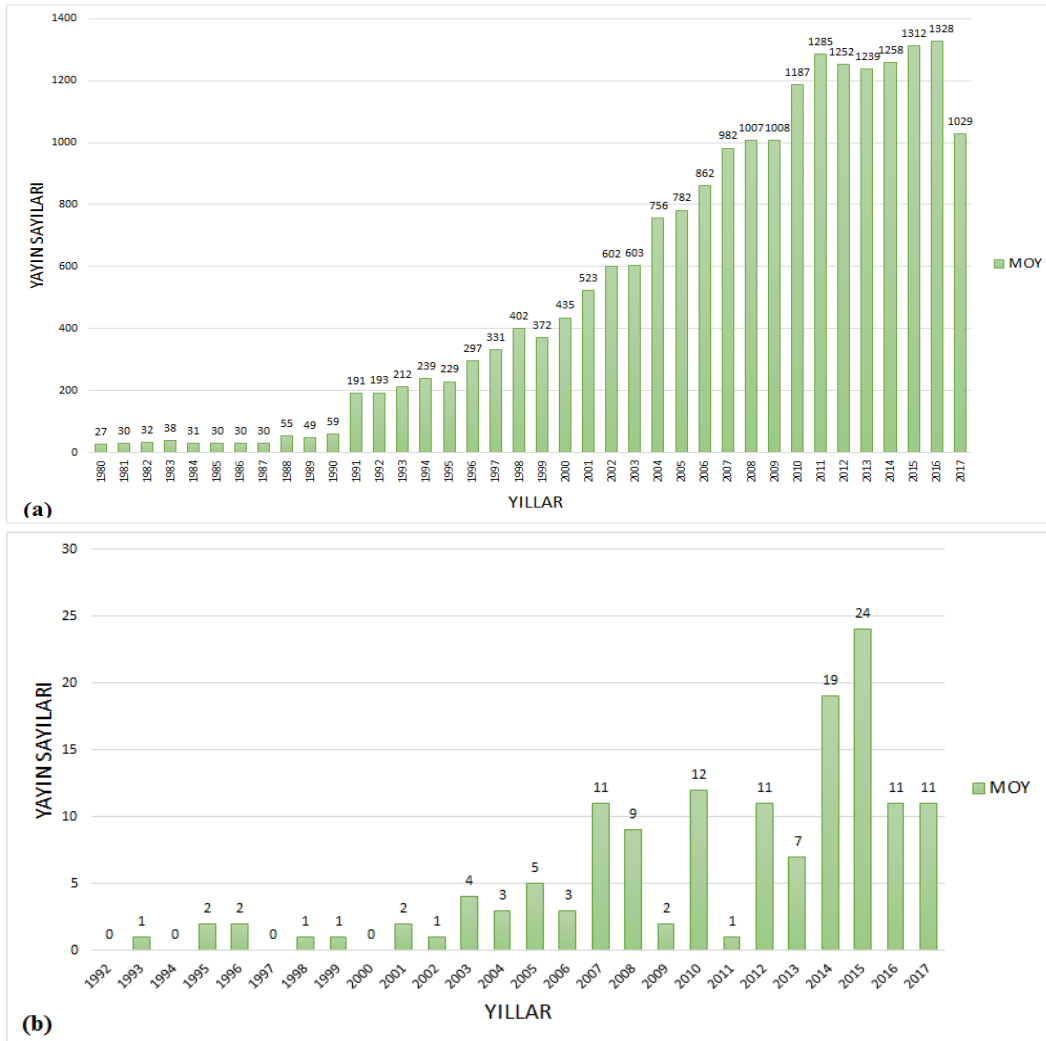
Şekil 5’te görüldüğü üzere Türkiye’de arayüzey tabakasına sahip MYY, MPY ve MFY/MFYF yapılar üzerine bir hayli az sayıda akademik çalışma yapıldığı görülmektedir. Bu durumun dünya çapında arayüzey tabakalı Schottky yapılar gösterilen ilgi ile doğru orantılı olduğu açıktır. MYY yapılar üzerine Web of Science’da dünya çapındaki 4701 akademik yayına karşı Türkiye’de 210 akademik çalışma yer almaktadır. Sonuçta MY yapılar olduğu gibi MYY yapılar üzerine yapılan akademik çalışmaların yaklaşık olarak %4’ü Türkiye’den çıkmaktadır. MPY ve MFY/MFYF yapılar için ise Türkiye’de yapılan yayınların dünya genelinde göre dikkat çekici bir sayıda olduğu görülmektedir.

Dünya üzerinde bu zamana kadar MPY yapılar üzerine Web of Science’da taranan 85 yayın tespit edilmiş olup bunların 25 tanesi Türkiye’den çıkmıştır. MFY/MFYF yapılar üzerine ise dünya genelinde Web of Science veri tabanında 2017 yılına kadar 543 yayın tespit edilmiş olup bu yayınların 17 tanesi Türkiye’den yayınlanmıştır. Son beş yılda MPY yapılar üzerine yapılan yayınların önemli bir kısmı Türkiye’den çıkmış olduğu gözlemlenmiştir. Ancak MFY/MFYF yapılar üzerine yapılan yayınlar göz önüne alındığında Türkiye bu alanda yapılan akademik çalışmaların dünya genelinde yapılan çalışma sayılarını bir hayli gerisinde kaldığı görülmektedir.

Daha önce bahsedildiği üzere metal ile yarıiletken arasına doğal veya termal oksidasyon gibi yöntemleri ile yalıtkan arayüzey tabakası eklenmesi sonucunda MYY ve MOY yapıları meydana gelmektedir. Metal ve yarıiletken tabakaları izole eden yalıtkan tabakanın kalınlığı yaklaşık olarak 100 Å altında ise MYY yapı, üstünde ise MOY yapı oluşmaktadır. Bu şekilde üretilen MOY yapılar üzerine dünya genelinde ve Türkiye’de yapılan çalışmalarında istatistiksel analizi sırasıyla Şekil 6.a ve Şekil 6.b ‘de verilmiştir

Science veri tabanı baz alındığında akademisyenlerin MYY yapılar kıyasla MOY yapılar üzerine daha fazla çalışma yaptığı ancak Türkiye’de dünya geneline kıyasla MOY yapılar üzerine araştırmacıların daha az çalışması olduğu ve MYY yapılar MOY yapılardan daha fazla ilgi gösterdikleri görülmektedir.

Dünya ve Türkiye’de yapılan toplam yayınları ve belirtilen sayısal değerleri ve oranları daha açık bir şekilde görmek ve karşılaştırmasını yapmak adına Web



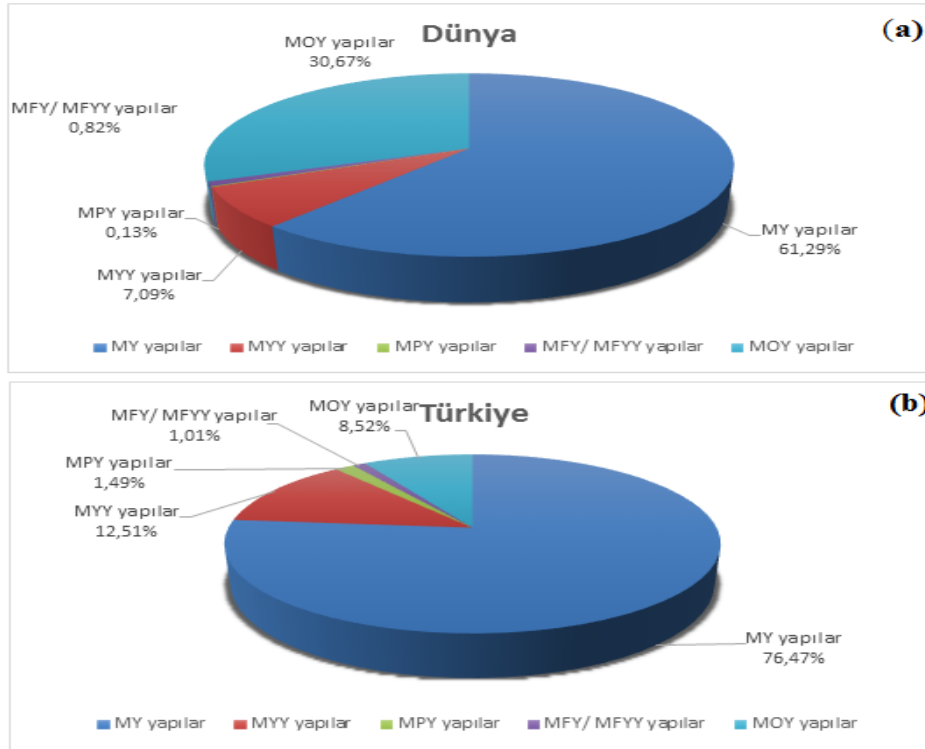
Şekil 6. MOY Schottky yapılar üzerine yapılan ve Web Of Science veri tabanında yer alan a) Dünyada b) Türkiye’de yapılmış akademik çalışma sayılarının yıllara göre dağılımları (Distribution of academic studies by years on MOS Schottky structures and indexed in Web of Science database a) in the world b) in Turkey).

Şekil 6.a’da görüldüğü üzere dünya genelinde MOY yapılar üzerine yapılan akademik çalışma sayıları MYY yapılar üzerine yapılan çalışma sayılarından bir hayli fazladır. Ancak Türkiye’de MOY yapılar üzerine yapılan akademik çalışma sayıları MYY yapılar üzerine yapılan akademik çalışma sayılarını gerisinde kalmıştır. Dünya genelinde MOY üzerine yapılan 20327 adet akademik çalışmanın Web of Science veri tabanında tarandığı ve bunların ancak 143 tanesinin Türkiye’ye ait olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak dünya genelinde Web of

Science veri tabanına kayıtlı yayınların MY ve arayüzey tabakalı MY yapılar için toplam yayın sayıları Çizelge 1’de verilmiştir. Şekil 7.a ve Şekil 7.b’de dünyada ve Türkiye’de 1975 ile 2017 yılları arasında Web Of Science veri tabanında yer alan MY ve arayüzey tabakalı MY yapılar üzerine yapılmış toplam akademik çalışma sayılarının yüzdeler olarak gösterimi verilmiştir

Çizelge 1. Dünya ve Türkiye’den Web of Science veri tabanına kayıtlı yayınların MY ve arayüzey tabakalı MY yapılar için 1975 ile 2017 yılları arasındaki toplam yayın sayıları (The total number of academic studies indexed in Web of Science database between 1975 and 2017 on MS and interface layer MS structures in the world and in Turkey).

	MY yapılar	MYY yapılar	MPY yapılar	MFY/MFYF yapılar	MOY yapılar
Dünya	40616	4701	85	543	20327
Türkiye	1284	210	25	17	143



Şekil 7. 1975 ile 2017 yılları arasında MY ve arayüzey tabakalı MY yapılar üzerine Web Of Science veri tabanında yer alan a) Dünyada b) Türkiye’de yapılmış toplam akademik çalışma sayılarının yüzdeleri olarak gösterimi (Percentage distribution of total number of academic studies indexed in Web of Science database between 1975 and 2017 on MS and interface layered MS structures a) in the world b) in Turkey).

Şekil. 7’de açıkça görülmektedir ki arayüzey tabakasız MY yapılar üzerine hem dünyada hem Türkiye’de önemli ölçüde akademik çalışma yapılmıştır. Türkiye’de MOY yapılar üzerine yapılan akademik çalışmalar dünya geneline oranla daha azdır. Hatta MYY yapılar üzerine yapılan akademik çalışmaların da gerisinde kaldığı görülmektedir. Öte yandan MPY ve MFY/MFYF yapılar üzerine yapılan akademik çalışmaların yüzdeleri oranlarının dünya geneline oranla daha yüksek olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Metal yarıiletken ve arayüzey tabakasına sahip metal yarıiletken Schottky yapıların geniş bir literatür araştırmasının, tarihsel gelişiminin ve farklı tiplerde elde edilen bu yapıların genel özelliklerinin incelendiği bu çalışmada aynı zamanda dünya ve Türkiye üzerinde bu alanda yapılan akademik çalışmaların istatistiksel analizi

yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre 2000’li yıllar ile birlikte MY Schottky yapılar üzerine yapılan çalışmalara ilginin arttığı ve yapılan yayınların hemen hemen her yıl artış gösterdiği görülmektedir. Türkiye’de de son on yılda MY Schottky yapılar üzerine yapılan akademik çalışmaların artış gösterdiği ve dünya genelinde bu alanda yayınlanmış ve Web of Science veri tabanında yer alan yayınların yaklaşık %5’inin Türkiye’den çıktığı gözlemlenmiştir. Öte yandan dünya genelinde ve Türkiye’de MY yapılar üzerine yapılan çalışmalara oranla MYY, MPY ve MFY/MFYF üzerine yapılan akademik çalışmaların sayısının bir hayli az olduğu görülmektedir. Bu durum, Web of Science’da taranan yayınlar özelinde Schottky yapının kalitesini olumsuz etkileyen arayüzey tabakasından kaynaklı faktörler ve organik polimer kullanımının yeni bir alan olması gibi nedenler ile araştırmacıların bu yapılar üzerine daha az çalışması olarak açıklanabilir. MYY yapılar üzerine

yapılan Web of Science’da taranan akademik çalışmaların yaklaşık olarak %4’ü Türkiye’den çıkmaktadır. Web of Science veri tabanında yer alan MPY yapılar üzerine dünyada yapılmış 85 yayından 25 tanesi Türkiye’den çıkmıştır. Özellikle son yıllarda MPY üzerine yapılan akademik çalışmaların önemli sayıdaki kısmı Türkiye’den çıkmış olup dünya genelinde yapılan yayınların %29.4’ünün Türkiye’den yapıldığı belirlenmiştir. Ayrıca, dünya genelinde Web of Science veri tabanında taranan MFY/MFYF yapılar üzerine yapılan çalışmaların MPY yapılar üzerine yapılan çalışmalardan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ancak Türkiye’de bu alanda fazla yayın yapılmadığı hatta MPY yapılar üzerine yapılan akademik çalışmaların gerisinde kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum Web of Science veri tabanı baz alındığında Türkiye’de yapılan yayınlarda polimer arayüzey tabakasının ferroelektrik arayüze göre daha fazla tercih edildiği şeklinde yorumlanmıştır. Yine Web of Science veri tabanı göz önüne alındığında MOY yapılar üzerine MYY yapılarla kıyasla oldukça fazla yayın yapıldığı ancak Türkiye’de bu durumun aksine MOY yapılar üzerine araştırmacıların daha az çalışması olduğu tespit edilmiştir.

SİMGELER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

Semboller (Symbols)

Ag: Gümüş (Silver)

Al: Alüminyum (Aluminium)

Au: Altın (Gold)

$Bi_4Ti_3O_{12}/BTO$: Bizmut Titanat (Bismuth Titanate)

GaAs: Galyum arsenik (Gallium Arsenide)

InGaN: İndiyum Galyum Nitrür (Indium Gallium Nitride)

Φ_s : Yarıiletkenin İş Fonksiyonu (Semiconductor’s Work Function)

Φ_m : Metalin İş Fonksiyonu (Metal’s Work Function)

n: İdealite Faktörü (Ideality Factor)

N_{ss} : Arayüzey Durum Yoğunluğu (Interface State Density)

R_s : Seri Direnç (Serial Resistance)

Si: Silisyum (Silicon)

SiO_2 : Silisyum-Dioksit (Silicon-Dioxide)

SnO_2 : Kalay-Dioksit (Tin-Dioxide)

Zn: Çinko (Zinc)

Kısaltmalar (Abbreviations)

AE: Alan Emisyonu (Field Emission)

BH: Engel yüksekliği (Barrier height)

C-V: Kapasitans-Voltaj (Capacitance-Voltage)

EBI: Elektron Demeti Işınlaması (Electron Beam Irradiation)

FeRAM: Ferroelektrik rastgele-erişimli hafıza (Ferroelectric random-access memory)

G/ ω -V: Kondüktans-Voltaj (Conductance-Voltage)

I-V: Akım-Voltaj (Current-Voltage)

MY: Metal-Yarıiletken (Metal-Semiconductor)

MYY: Metal-Yalıtkan-Yarıiletken (Metal-Insulator-Semiconductor)

MPY: Metal-Polimer-Yarıiletken (Metal-Polymer-Semiconductor)

MFY/MFYF: Metal-Ferroelektrik/Yalıtkan-Yarıiletken(Metal-Ferroelectric/Insulator-Semiconductor)

MESFET: Metal-Yarıiletken Alan Etkili Transistör (Metal-Semiconductor Field Effect Transistor)

MOY: Metal Oksit Yarıiletken (Metal-Oxide-Semiconductor)

OLED: Organik Işık Yayan Diyotlar (Organic Light Emitting Diodes)

PVA: Polivinil Alkol (Polyvinyl Alcohol)

RR: Doğrultma Oranı (Rectifying Ratio)

TAE: Termiyonik Alan Emisyonu (Thermionic Field Emission)

TE: Termiyonik Emisyon (Thermionic Emission)

TED: Termiyonik Emisyon-Difüzyon (Thermionic Emission-Diffusion)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Sze S. M., Kwok K. Ng., “Physics of Semiconductor Devices” 3rd ed., *John Wiley & Sons*, 9780470068328, New Jersey, (2007).
- [2] Rhoderick E. H. and Williams R. H., “Metal Semiconductor Contacts”, 2nd ed., *Oxford Press*, 0198593368, USA, (1988).
- [3] Northrop D. C. and Rhoderick E. H., “The Physics of Schottky barriers, in Impedance Devices”, *Solid State Electronics*, 4: 37-73, (1978).
- [4] Sharma B. L., “Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications”, *Plenum Press*, 9781468446555, New York, (1984).
- [5] Soylu M. and Yakuphanoglu F., “Photovoltaic and interface state density properties of the Au/n-GaAs Schottky barrier solar cell”, *Thin Solid Films*, 519: 1950-1954, (2011).
- [6] Farag A. A. M., Yahia I. S. And Fadel M., “Electrical and photovoltaic characteristics of Au/n-CdS Schottky diode”, *Int. J. Hydrogen Energ.*, 34: 4906-4913, (2009).
- [7] Sharma A. T., Shahnawaz, Kumar S., Katharria Y. S and Kanjilal D., “Barrier modification of Au/n-GaAs Schottky diode by swift heavy ion irradiation”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 263: 424, (2007).
- [8] Demirezen S., Özavcı E. and Altındal Ş., “The effect of frequency and temperature on capacitance-conductance-voltage (C/G-V) characteristics of Au/n-GaAs Schottky barrier diodes (SBDs)”, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 23: 1-6, (2014).
- [9] Gökçen M., Altuntaş H., Altındal Ş. and S. Özçelik, “Frequency and voltage dependence of negative

- capacitance in Au/SiO₂/n-GaAs structures”, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 15: 41–46, (2012).
- [10] Bhajantri R. F., Ravindrachary V., Harisha A., Ranganathalah C. and Kumaraswamy G. N., “Effect of barium chloride doping on PVA microstructure positron annihilation study”, *Appl. Phys. A*, 87: 797-805, (2007).
- [11] Afandiyeva I. M., Dökme İ., Altındal Ş., Bülbül M. M. and Tataroğlu A., “Frequency and voltage effects on the dielectric properties and electrical conductivity of Al–TiW–Pd₂Si/n-Si structures”, *Microelectronic Engineering*, 85: 247-252, (2008).
- [12] Bilkan Ç., Zeyrek S., San S. E. and Altındal Ş., “A compare of electrical characteristics in Al/p-Si (MS) and Al/C₂OH₁₂/p-Si (MPS) type diodes using current–voltage (I–V) and capacitance–voltage (C–V) measurements”, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 32: 137-144, (2015).
- [13] Sze S. M., Crowell C.R. and Khang D., “Photoelectric Determination of The Image Force Dielectric Constant For Hot Electrons in Schottky Barriers”, *J. Appl. Phys.*, 35: 2534-2536, (1964).
- [14] Bethe H. A., “Theory of The Boundry Layer of Crystal Rectifiers”, 43, *Radiation Laboratory, Massachusetts Institute of Technology*, 12, Cambridge, (1942).
- [15] Crowell C. R. and S.M. Sze, “Current transport in metalsemiconductorbarriers”, *Solid-State Electronics*, 9: 1035-1048, (1966).
- [16] Rideout V. L., “A Review of The Theory, Technology and Applications of Metal-Semiconductor Rectifiers”, *Thin Solid Films*, 48: 261-266, (1978),
- [17] Heine V., “Theory of Surface States”, *Phys. Rev.*, 6A, 138: 1689-1696, (1965).
- [18] Crowell C. R. and Roberts G. I., “Surface State and Interface Effects on The Capacitance-Voltage Relationship in Schottky Barriers”, *J. Appl. Phys.*, 40: 3726-3730, (1969).
- [19] Card H. C., Rhoderick E. H., “Studies of Tunnel MOS Diodes I. Interface Effects in Silicon Schottky Diodes”, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 4: 1589-1601, (1971).
- [20] Levine J., “Schottky Barrier Anomalies and Interface States”, *J. Appl. Phys.*, 42: 3991-3999, (1971).
- [21] Borrego J. M., Gutmann R.J. and Ashok S., “Interface State Density in Au/n-GaAs Schottky Diodes”, *Solid State Elect.*, 20: 125-132, (1977).
- [22] Wu C.Y., “Interfacial Layer Theory of The Schottky Barrier Diodes”, *J. Appl. Phys.*, 51: 3786-3789, (1980).
- [23] Chandra M. M., Prasad M., *J. of Solid State Phys. A*, 77: 1, (1983).
- [24] Gomila G., Rubi M., “Relation for The Nonequilibrium Population of The Interface States: Effects on The Bias Dependence of The Ideality Factor”, *J. Appl. Phys.*, 81: 2674-2681, (1997).
- [25] Baranwal V., Kumar S., Pandey A. C. and Kanjilal D., “Effect of ion irradiation on current–voltage characteristics of Au/n-GaN Schottky diodes”, *Journal of Alloys and Compounds*, 480: 962-965, (2009).
- [26] Hamdaoui N., Ajjel R., Salem B. and Gendry M., “Distribution of barrier heights in metal/n-InAlAs Schottky diodes from current–voltage–temperature measurements”, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 26: 431-437, (2014).
- [27] Vali I. P., Shetty P. K., Mahesha M. G., Petwal V. C., Dwivedi J. and Choudhary R. J., “Tuning of Schottky barrier height of Al/n-Si by electron beam irradiation”, *Applied Surface Science*, 407: 171-176, (2017).
- [28] Sing A., Reinhard K. C. and Anderson W. A., “Temperature dependence of the electrical characteristics of Yb/p-InP tunnel metal-insulator-semiconductor junctions”, *J. Appl. Phys.*, 68: 3475-3479, (1990).
- [29] Chattopadhyay P. and Daw A. N., “On the current transport mechanism in a metalinsulator-semiconductor diode”, *Solid State Electron.*, 29: 555-560, (1986).
- [30] Yu A. Y. C., Snow E. H., “Surface Effects on Metal-Silicon Contacts”, *J. Appl. Phys.*, 39: 3008, (1968).
- [31] Depas M., R., Van Meirhaegh L., Laflere W. H. and Cardon F., “Electrical characteristics of Al/SiO₂/n-Si tunnel diodes with an oxide layer grown by rapid thermal oxidation”, *Solid State Electron.*, 37: 433-441, (1994).
- [32] Altındal Ş., Karadeniz S., Tuğluoğlu N. and Tataroğlu A., “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 Electron.*, 47(10): 1847-1854, (2003).
- [33] Goetzberger A., Klausmann E. and Schulz M. J., “Interface states on semiconductor/insulator surfaces”, *CRC Critical Reviews in Solid State Sciences*, 6: 226-233, (1976).
- [34] Hudait M. K. and Krupanidhi S.B., “Effects of thin oxide in metal-semiconductor and metal-insulator-semiconductor epi-GaAs Schottky diodes”, *Solid-State Electron.*, 44: 1089-1097, (2000).
- [35] Kılıçoğlu T. and Asubay S., “The effect of native oxide layer on some electronic parameters of Au/n-Si/Au–Sb Schottky barrier diodes”, *Physica B*, 368: 58–63, (2005).
- [36] Tataroğlu A. and Altındal Ş., “The analysis of the series resistance and interface states of MIS Schottky diodes at high temperatures using I–V characteristics”, *Journal of Alloys and Compounds*, 484: 405–409, (2009).
- [37] Chen G., Yu J. and Lai P.T., “A study on MIS Schottky diode based hydrogen sensor using La₂O₃ as gate insulator”, *Microelectronics Reliability*, 52: 1660-1664, (2012).
- [38] Tuan T. T. A. and Kuo D.-H., *Materials Science in Semiconductor Processing*, 30: 314-320, (2015).
- [39] Tan S. O., Tecimer H. U., Çiçek O., Tecimer H., Orak İ. and Altındal Ş., “Electrical characterizations of Au/ZnO/n-GaAs Schottky diodes under distinct illumination intensities”, *J. Mater. Sci. Electron*, 27: 8340-8347, (2016).
- [40] Ichenko V. V., Marin V. V., Lin S. D., Panam K. Y., Buyanin A. A. and Tretyak O. V., “Room temperature negative differential capacitance in self-assembled quantum dots”, *J. Phys. D Appl. Phys.*, 41: 235107, (2008).
- [41] Tecimer H., Türüt A., Uslu H. Altındal Ş. and Uslu İ., “Temperature dependent current-transport mechanism in Au/(Zn-doped) PVA/n-GaAs Schottky barrier diodes (SBDs)”, *Sensors and Actuators A*, 199: 194-201, (2013).
- [42] Werner J. and Guttler H., “Barrier inhomogeneities at Schottky contacts”, *Journal of Applied Physics*, 69: 1522-1533, (1991).
- [43] Sakr G. B. and Yahia I. S., “Effect of illumination and frequency on the capacitance spectroscopy and the

- relaxation process of p-ZnTe/n-CdMnTe/GaAs magnetic diode for photocapacitance applications”, *J. Alloys Compd.*, 503: 213-219, (2010).
- [44] Yakuphanoglu F. and Okur S., “Analysis of electronic parameters and interface states of boron dispersed triethenolemine/p-Si structure by AFM, I-V, C-V-f and G/w-V-f techniques”, *Microelectronic Engineering*, 87: 30-34, (2010).
- [45] Aydoğan Ş., İncekara Ü. and Türüt A., “Determination of contact parameters of Au/Carmine/n-Si Schottky device”, *Thin Solid Films*, 518: 7156-7160, (2010).
- [46] Gupta R. K. and Singh R. A., “Fabrication and characteristics of Schottky diode based on composite organics semiconductor”, *Composites and Science and Technology*, 65: 677-681, (2005).
- [47] Yahia I. S., Farag A. A., F. Yakuphanoglu and Farooq W. A., “Temperature dependence of electronic parameters of organic Schottky diode based on fluorescein sodium salt”, *Synthetic Metals*, 161: 881-887, (2011).
- [48] Çiçek O., Uslu Tecimer H., Tan S. O., Tecimer H., Altındal Ş and İ. Uslu, “Evaluation of electrical and photovoltaic behaviours as comparative of Au/n-GaAs (MS) diodes with and without pure and graphene (Gr)-doped polyvinyl alcohol (PVA) interfacial layer under dark and illuminated conditions”, *Composites Part B*, 98: 260-268, (2016).
- [49] Yakuphanoglu F., Kandaz M. and Senkal B.F., “Current-voltage and capacitance-voltage characteristics of Al/p-type silicon/organic semiconductor based on phthalocyanine rectifier contact”. *Thin Solid Films*, 516: 8793-8796, (2008).
- [50] Vural Ö., Şafak Y., Altındal Ş. and A. Türüt, “Current and voltage characteristics of Al/Rhodamine-101/n-GaAs structures in the wide temperature range”, *Current Applied Physics*, 10: 761, (2010).
- [51] Fujimori Y., Nakamura T. and Kamisawa A., “Properties of ferroelectric memory FET using $\text{Sr}_2(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_7$ thin film”, *J. Appl. Phys.*, 38: 2285-2288, (1999).
- [52] Tokomitsu E., Fujii G. and Ishivara H., “Nonvolatile ferroelectric-gate field-effect transistors using $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9/\text{Pt}/\text{SrTa}_2\text{O}_6/\text{SiON}/\text{Si}$ structures”, *Applied Physics Letter*, 75(4): 575-577, (1999).
- [53] Fujisaki Y., Iseki K. and Ishiwara H., “Long retention performance of a MFIS device achieved by introducing high-k $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$ buffer layer”, *Material Research Society Symposium Proceedings*, 786: 297 (2004).
- [54] Wu D., Li A. and Ming N., “Characteristics of metal-ferroelectric-insulatorsemiconductor structure using La-modified $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ as the ferroelectric layer”, *Microelectronic Engineering*, 66: 773-778, (2003).
- [55] Yang Ch. H., Wang Zh., Xu H. Y., Sun X. Q. and J. R. Han, “Samarium doped $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ thin films grown on $\text{SiO}_2/\text{p-Si}$ (111) by spin coating metalorganic solution decomposition method”, *Materials Chemistry and Physics*, 88: 67- 70, (2004).
- [56] Joshi P. C. and Krupanidh S. B., “Structural and electrical studies on rapid thermally processed ferroelectric $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ thin films by metalloorganic solution deposition”, *Journal of Applied Physics*, 72(12): 5817-5819, (1992).
- [57] Lea K.C., Kim W.S., Park H., Jeon H. and Pae Y.H., “Thermal-stress stability of yttrium oxide as a buffer layer of metal-ferroelectric-insulatorsemiconductor field effect transistor”, *Thin Solid Films*, 473: 335- 339, (2005).
- [58] Hill W. A. C. and Coleman C. C., “A single-frequency approximation for interface-state density determination”, *Solid State Electronics*, 23: 987-993, (1980).
- [59] Okuyama M., Takahashi M., Sugiyama H., Nakaiso T., Kodama K. and Noda M., “An Analysis of Effects of Device Structures on Retention Characteristics in MFIS Structures, Applications of Ferroelectrics, IEEE, ISAF 2000, 12th IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics, Kyoto, 337-340, (2000).
- [60] Altındal Ş., Parlaktürk F., Tataroğlu A., Parlak M., Sarmasov S.N. and Agasiev A.A., “The temperature profile and bias dependent series resistance of Au/ $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SiO}_2/\text{n-Si}$ (MFIS) structures”, *Vacuum*, 82: 1246-1250, (2008).
- [61] Bülbül M. M., Altındal Ş., Parlaktürk F. and Tataroğlu A., “The density of interface states and their relaxation times in Au/ $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{SiO}_2/\text{n-Si}$ (MFIS) structures”, *Surf. Interface Anal.*, 43: 1561-1565, (2011).
- [62] Çetinkaya H. G., Yıldırım M., Durmuş P. and Altındal Ş., “Correlation between barrier height and ideality factor in identically prepared diodes of Al/ $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}/\text{p-Si}$ (MFS) structure with barrier inhomogeneity”, *Journal of Alloys and Compounds*, 721: 750-756, (2017).
- [63] Yu J., Wang H., Dong X., Zhou W., Wang Y., Zheng Y. and J. Zhao, “Fabrication and characteristics of Au/PZT/BIT/p-Si ferroelectric memory diode”, *Solid-State Electron.*, 45: 411-415, (2001).
- [64] Dakhel A. A., “Nanocrystalline Pr-doped ZnO insulator for metal-insulator-Si Schottky diodes”, *Journal of Crystal Growth*, 311: 4183-4187, (2009).
- [65] Tataroğlu A. and Altındal Ş., “Gamma-ray irradiation effects on the interface states of MIS structures”, *Sensors and Actuators A: Physical*, 151: 168-172, (2009).
- [66] Chen G., Yu J. and Lai P.T., “A study on MIS Schottky diode based hydrogen sensor using La_2O_3 as gate insulator”, *Microelectronics Reliability*, 52: 1660-1664, (2012).
- [67] Ueda K., Soumiya T. and Asano H., “Ferromagnetic Schottky junctions using diamond semiconductors”, *Diamond and Related Materials*, 25: 159-162, (2012).
- [68] Filip L. D., Pintilie L., Stancu V. and Pintilie I., “Simulation of the capacitance-voltage characteristic in the case of epitaxial ferroelectric films with Schottky contacts”, *Thin Solid Films*, 592: 200-206, (2015).
- [69] Chen J., Lv J. and Wang Q., “Electronic properties of Al/ $\text{MoO}_3/\text{p-InP}$ enhanced Schottky barrier contacts,” *Thin Solid Films*, 616: 145-150 (2016).
- [70] Bartolomeo A. D., “Graphene Schottky diodes: An experimental review of the rectifying graphene/semiconductor heterojunction”, *Physics Reports*, 606: 1-58, (2016).
- [71] Tan S.O., Türker İ. and Toku T., “The scientific studies on smart grid in selected European countries”, *MATEC Web of Conferences* 112, 10012, (2017), DOI: 10.1051/mateconf/201711210012.