



Metal-Gözenekli Silisyum Direkt Hidrojen Pili Üretim Parametrelerinin Geliştirilmesi

Sevinç GÜLER¹, Çiğdem ORUÇ^{2,*}, Hüseyin Murat LUŞ³

¹Nişantaşı Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Sarıyer/İSTANBUL

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 34220, Esenler/İSTANBUL

³Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34220, Esenler/İSTANBUL

Öz

Gözenekli silisyum (GS) üretim yöntemi olan, elektrokimyasal aşındırma (anodizasyon) koşullarının, Metal-Gözenekli Silisyum Direkt Hidrojen Pili (Metal-GS-DHP) elektriksel parametrelerine etkisi oldukça yüksektir. Bu çalışmada üretilen, n tipi, (111) yönelimli, tek kristal silisyumdan GS'nin 4 temel anodizasyon koşulu vardır (zaman, akım yoğunluğu, HF oranı ve ışık aydınlatma). Anodizasyon zamanı 5-100 dakika, akım yoğunluğu 5-75 mA/cm², HF:deiyonize H₂O oranı 1:1- 1:11 ve ışık aydınlatma şiddeti 1000-7000 lüks aralıklarında uygulanmıştır. En iyi anodizasyon zamanı 40 dakika ve buna karşılık gelen Metal-GS-DHP elektriksel pil parametreleri, Voc= 590 mV Isc=30 µA'dır. En iyi akım yoğunluğu 20 mA/cm² ve buna karşılık gelen Metal-GS-DHP elektriksel pil parametreleri, Voc= 700 mV, Isc=15 µA'dır. En iyi HF:H₂O oranı 1:3 ve buna karşılık gelen Metal-GS-DHP elektriksel pil parametreleri, Voc= 420 mV, Isc=10 µA'dır. En iyi ışık aydınlatma şiddeti 4000 lüks ve buna karşılık gelen Metal-GS-DHP elektriksel pil parametreleri, Voc= 540 mV Isc=18 µA'dır. Deney sonuçlarından anlaşılacağı üzere Metal-GS-DHP elektriksel pil parametreleri anodizasyon koşullarına direkt bağlıdır.

Makale Bilgisi

Başvuru: 24/01/2018

Düzeltilme: 28/06/2018

Kabul: 02/07/2018

Anahtar Kelimeler

Gözenekli Silisyum
Anodizasyon Koşulları
Hidrojen Pili

Keywords

Porous Silicon
Anodization Parameters
Hydrogen Cell

Development of Metal-Porous Silicon Direct Hydrogen Fuel-Cell Production Parameters

Abstract

Effect of the electrochemical etching (anodization) that is one of the manufacturing process of porous silicon (PS) on the electrical parameters of metal-porous silicon direct hydrogen cell (Metal-PS-DHC) is considerably high. There is 4 basic anodization parameters of n-type, (111) oriented, single crystal PS fabricated in this study (time, current density, HF ratio and light). 5-100 Min. of anodization time, 5-75 mA/cm² of current density, 1:1- 1:11 of HF:deionized H₂O ratio and 1000-7000 lux light intensity is applied. The best anodization time is 40 minutes and corresponding Metal-PS-DHC electrical cell parameters are Voc= 590 mV and Isc=30 µA. The best HF: H₂O ratio is 1:3 and the corresponding Metal-GS-DHP electrical cell parameters are Voc= 540 mV and Isc=18 µA. The best light intensity is 4000 lux and the corresponding Metal-GS-DHP electrical cell parameters are Voc= 540 mV and Isc=18 µA. As the experimental results show, Metal-GS-DHP electrical cell parameters are directly related to the anodization conditions.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gözenekli silisyum, nanometre mertebesinde mikrometre mertebesine kadar değişen boyutlarda boşluklarla çevrelenmiş, silisyum bölgelerden oluşan bir ağıdır. Gözenekli Silisyum (GS), Silisyumun hidroflorik asit içinde elektrokimyasal aşındırılması sırasında 1956'da keşfedilmiştir [1]. Gözenekli silisyumun, oda sıcaklığında fotoluminesans vermesi nedeniyle bir aday malzeme olarak elektronik cihazların üretiminde kullanılması düşünülmektedir [2]. Dikkate değer bu eğilim, gözenekli silisyum hakkındaki araştırmaları arttırmıştır.

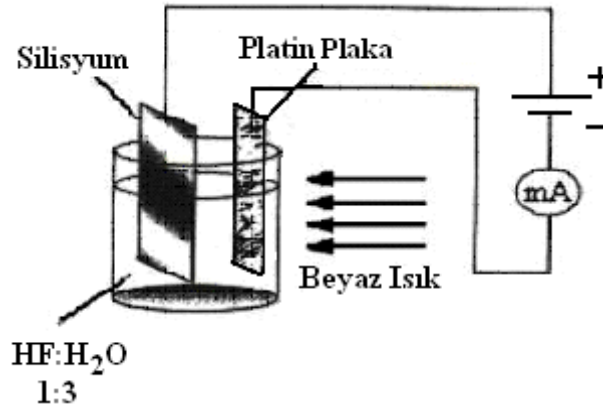
*İletişim yazarı, e-mail: oruc@yildiz.edu.tr

Bu çalışmada, Hidroflorik asit (HF) içinde elektrokimyasal aşındırma yöntemi ile (anodizasyon) elde edilen gözenekli silisyum, HF konsantrasyonu, sıcaklık, iletkenlik tipi, ışınlama ve anodizasyon zamanı, akım yoğunluğu gibi etkenler değiştirilerek incelenmiştir [3]. Bu etkenlerin, gözenekli silisyumun, hacmine, kalınlığına, gözenekliliğine ve fotolüminesansına nasıl yansıdığı araştırılmıştır. GS Kristal yapısının gözenekliliği, metal-GS eklemlerin gaz sensörleri gibi kullanılmasına yeni bir perspektif açar [4]. Su buharının ortamda bulunması, Si-Si ile Si-H bağlarının kırılmasına yada oluşmasına neden olur. Balagurov vd. 1996 yılında yaptıkları çalışmalarda su buharının gözenekli silisyumun fotolüminesans spektrumunun üzerindeki etkisini analiz etmiştir [5]. Bu nedenle, nemin etkisi ile Au-GS eklemlerinin I-V karakteristiklerinin değişimi gözlenmiştir [6-7-8]. Ayrıca, HF oranı ve akım yoğunluğunun mezo gözenekli silisyumun gözenekliliğine ve yüzey alanına etkileri incelenmiştir [9]. Das ve arkadaşları, akım yoğunluğunun metal-GS yapının optik ve bariyer yüksekliği parametrelerine etkisini incelemişlerdir [10-11]. Yine akım yoğunluğunun gözenekli silisyum kalınlığına ve üzerinde büyütülecek kuantum dotlara etkisi gözlenmiştir [12]. Anodizasyon zamanının GS'nin yapısal parametrelerine ve fotolüminesansına etkisi gösterilmiştir [13]. Son olarak, anodizasyon zamanının güneş pili parametrelerine etkisi incelenmiştir [14].

2. DENEYSSEL (EXPERIMENTAL)

2.1.1 Gözenekli Silisyum Üretimi (Production of Porous Silicon)

Tek kristal, n-tipi, (111) yönelim ve $1 \times 10^{-2} \Omega \text{cm}$ öz dirençli (Sb katkılı) silisyum kullanıldı. Elektrokimyasal aşındırma (anodizasyon) işleminde 4 parametre etkindir. Bunların ayrı ayrı etkilerinin incelenmesi için diğer 3 parametrenin sabit tutulması gereklidir. Daha önceki çalışmalarımız göz önünde bulundurularak şu sabit parametreler kullanılmıştır [15]. Anodizasyon zamanı 40 dakika, akım yoğunluğu 15 mA/cm^2 , HF:H₂O oranı 1:3 ve ışık aydınlatma şiddeti 5000 lüks'dür.

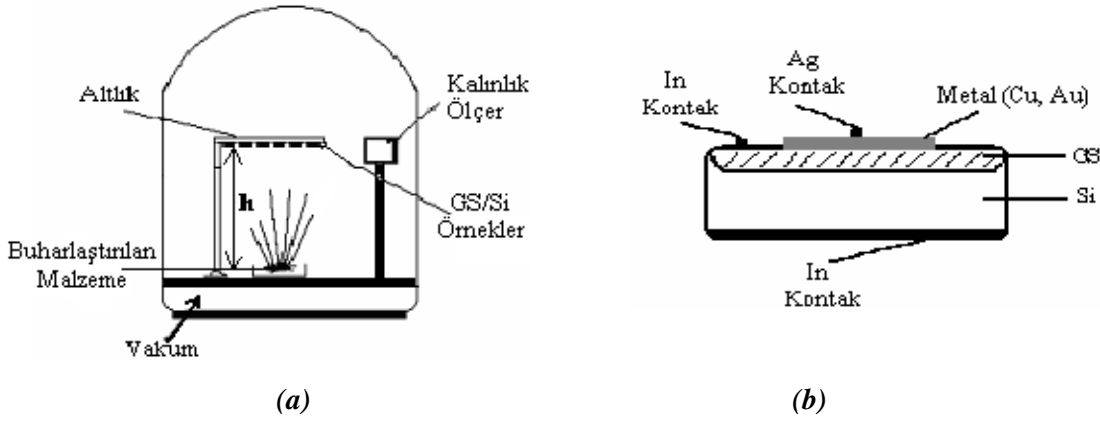


Şekil 1. GS tabakanın Si yüzey bölgesinde elde edilmesi için kullanılan elektrokimyasal anodizasyon düzeneği.

Elektrokimyasal anodizasyonda silisyum anot, platin plaka ise katot görevi yapar (Şekil 1). Deneye başlamadan önce silisyum kristalinin parlak yüzeyi standart RCA prosedürü ile temizlendi. Beyaz ışık (75 mW.cm^{-2} halojen lamba) parlak yüzeye doğru olacak şekilde kaba yerleştirildi.

2.1.2 Metal-GS-DHP Üretimi (Production of Metal-PS-DHC)

GS-Si edildikten sonra vakumda, elektron-demeti buharlaştırma yöntemi kullanılarak, vakum sisteminde (Şekil 2.a) GS filmlerin üzerine Au metali (150 nm) kaplandı. Filmlerin kalınlığı “ Deposition Controller (Inficon, Leybold)” cihazı ile buharlaştırma esnasında ölçüldü. Metal-GS-DHP ifadesinde “Metal” olarak kastedilen bu altın metalidir. Bu metal Proton Exchange Membran (PEM)’deki ayırıcı tabaka gibi işleve yardımcı olur. Elektriksel ölçümlerin gerçekleştirilebilmesi için Şekil 2.b’de gösterildiği gibi silisyum yüzeye (arka yüzey) indiyum, GS metal (Au) kaplı yüzeye ise nokta gümüş kontak (elektriksel bağlantı için) yapıldı. Bu kontaklardan yararlanılarak I-V karakteristikleri “Keithley 617 Electrometer” ve bilgisayar bağlantısı için GPIB kart kullanılmıştır. Farklı ortamlarda Voc açık devre gerilimi Isc kısa devre akımı ‘Thurlby’ 1503 digital multimeter” belirlendi. GS’nin mikroyapı fotoğrafları Nikon Eclipse MA100 görüntü analiz cihazı ile elde edilmiştir.



Şekil 2. a) GS-Si yapının yüzeyine metal kaplamak için kullanılan vakum sistemi,
b) Metal-GS-Si Schottky eklemesindeki kontaklar.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Hidrojen pili mekanizması uzun yıllardır bilinen bir teknolojidir. Günlük hayatımıza uygulanamamasının birkaç önemli sebebi vardır. Hidrojen doğada saf halde bulunmaz, üretilmesi için bir enerji harcanmalıdır. Yani hidrojen enerjinin kullanımı başka bir enerji kaynağına bağlıdır. Üretiminden sonra saklanması ve taşınmasındaki riskler bu teknolojinin zorluklarındandır.

Bu nedenle son yıllardaki araştırmalarda doğrudan hidrojen pili büyük önem arz eder. Bu teknolojinin hedefi hidrojeni saf olarak kullanmak yerine hidrojen içerikli sıvıları kaynak olarak kullanmaktır. Metal-GS-DHP de bunlardan biridir. Bu yapı hidrojen içerikli yapıların içine yerleştirildiğinde bir potansiyel fark üretir [16]. GS yapı, proton exchange mebrandaki (PEM) membran görevini görür. Sıvının içindeki hidrojenin ayrışmasını ve yapının alt kısma ulaşmasını sağlar. Metal-GS-DHP üzerine gelen su molekülleri (H₂O) parçalanır.



Veya diğer bir reaksiyon da suyun proton (H⁺) ve OH⁻ iyonlarına ayrışmasıdır.

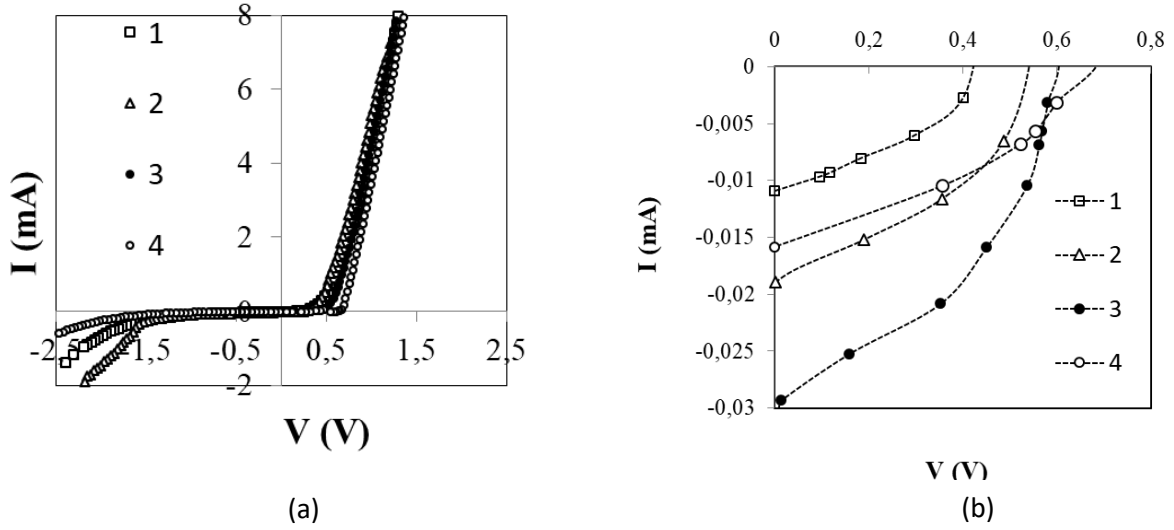


Her iki reaksiyonda da O₂ ve OH⁻ ye göre çok daha küçük boyutlu olan hidrojen iyonları metal filmden geçip Metal/GS ekleme ulaşır. GS film boyunca protonlar (H⁺) konsantrasyon gradyanı meydana getirerek sınır bölgesinde dipoller oluşturlar. Bu dipoller açık devre gerilimini meydana getirmektedirler. Bu potansiyel fark çok yüksek değildir (ortalama Voc= 500mV, ortalama Isc=10µA). Ama bu üretimi

sağlayan Metal-GS-DHP yapının boyutlarının 1cmx1cmx0.5mm olduğu düşünülürse çalışma oldukça ümit vericidir.

Bu çalışma, Metal-GS-DHP yapının pil parametrelerinin verimli hale getirilmesi ile ilgilidir. GS yapının boşluk kapasitesi ve yüzey morfolojisi tamamıyla üretim şartlarına bağlıdır. Bu nedenle anodizasyon şartları değiştirilerek Metal-GS-DHP yapının pil parametrelerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

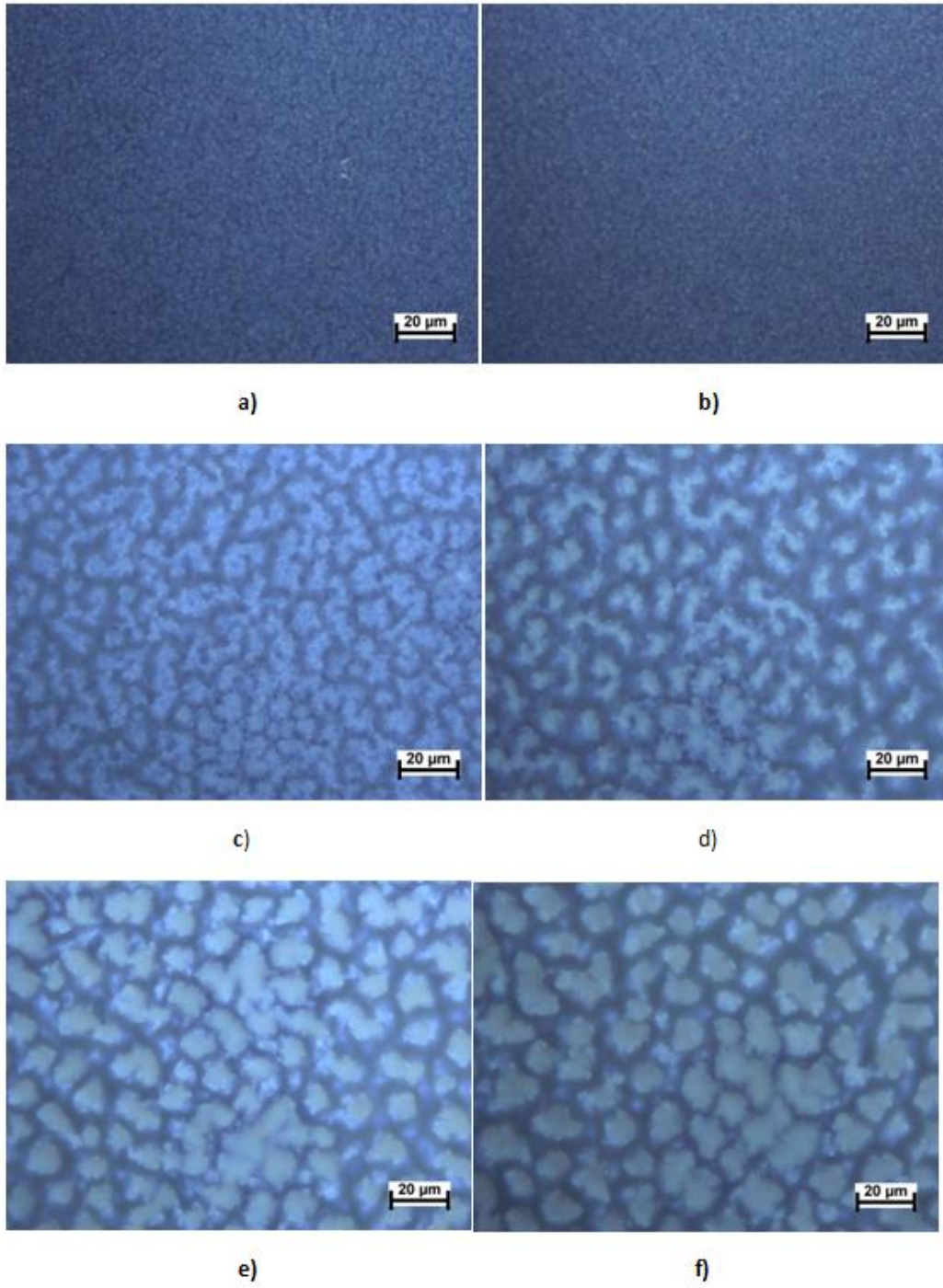
Şekil 3.a)'da bir Metal-GS-DHP yapının örnek bir I-V karakteristiği görülmektedir. Yapısı itibarıyla Schottky diyota benzer. Şekil 3.a)'da 1. HF:dH₂O oranı, 2. Işık aydınlatma şiddeti, 3. Zaman, 4. Akım yoğunluğu olmak üzere; Tablo 1 de gösterilen en iyi parametrelere aittir. Ancak ayrıntılı incelemesinde, klasik bir güneş pili penceresine benzer bir pencereye sahiptir (Şekil 3.b). Pencerenin kesim yerleri Voc ve Isc değerlerine karşılık gelmektedir. Şekil 3.b)'de yine, 1. HF:dH₂O oranı, 2. Işık aydınlatma şiddeti, 3. Zaman, 4. Akım yoğunluğu olmak üzere; Tablo 1 de gösterilen en iyi parametrelere aittir. Ayrıca Voc ve Isc değerleri Metal-GS-DHP yapının alt ve üst kontaktarı arasında bir ölçüm aleti ile de direkt olarak belirlenebilmektedir.



Şekil 3. a) Metal-GS-DHP I-V karakteristiği, **b)** Bu I-V karakteristiğinin penceresi. (1. HF:dH₂O oranı, 2. Işık aydınlatma şiddeti, 3. Zaman, 4. Akım yoğunluğunun en iyi örnekleri).

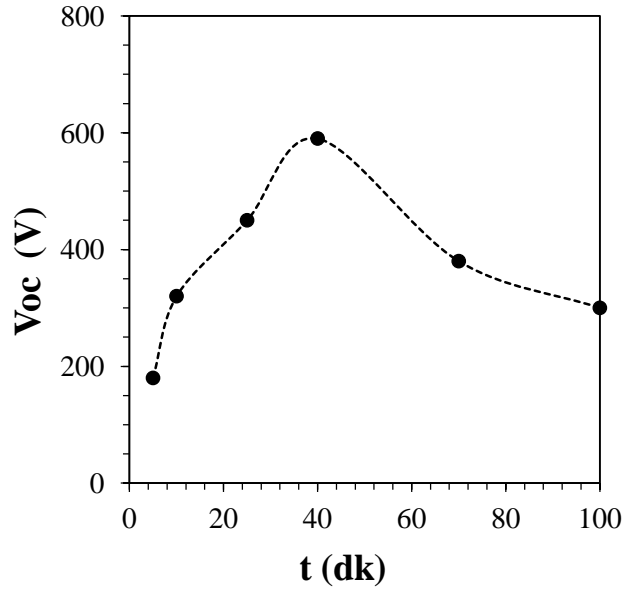
3.1.1 Anodizasyon Zamanı (Anodization Time)

Anodizasyon süresi 5-10-25-40-70-100 dakika olarak değiştirilirken; akım yoğunluğu 15 mA/cm², HF:dH₂O oranı 1:3 ve ışık aydınlatma şiddeti 5000 lüks'te sabit tutulmuştur. Bu şartlarda üretilen GS yapıların imaj analizör görüntüleri Şekil 4'deki gibidir. Bu görüntüler incelendiğinde 5 ve 10 dakika sonuçları oldukça benzerdir. Si yüzeyi oldukça küçük parçacıklar halinde bozulmaya başlamıştır. Sonraki anodizasyon zamanlarında süreyle doğru orantılı bir biçimde GS yapıda meydana gelen boşluklar büyümeye başlamıştır.

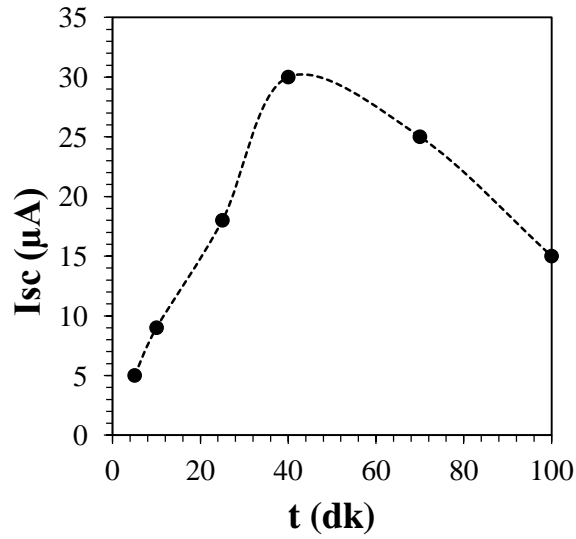


Şekil 4. Anodizasyon süreleri sırasıyla **a) 5 dk, b) 10 dk, c) 25 dk, d) 40 dk e) 70 dk, f) 100 dk** 'dır.

Bu anodizasyon sürelerinde üretilmiş GS'den elde edilen Metal-GS-DHP yapının Voc ve Isc elektriksel parametreleri Şekil 5.a) ve b) 'deki gibidir. Düşük anodizasyon sürelerinde (5,10,25 dk) yüzeyde bağlar yeni kırılmaya başlanmıştır. Hidrojen iyonu birikimi için yeterince boşluk oluşamamıştır. Elektriksel parametrelerin en yüksek olduğu anodizasyon zamanı 40 dakikadır (Voc= 590mV ve Isc =30 µA). Bu sürede gözenek boyutları ve toplam boşluk miktarı uygun hale gelmiştir. Süre daha çok arttığında boşluk çapları ve miktarı olması gerekenden daha fazla artmış ve yapı hidrojen iyonlarını sudan ayırmakta başarısız olmaya başlamıştır.



a)

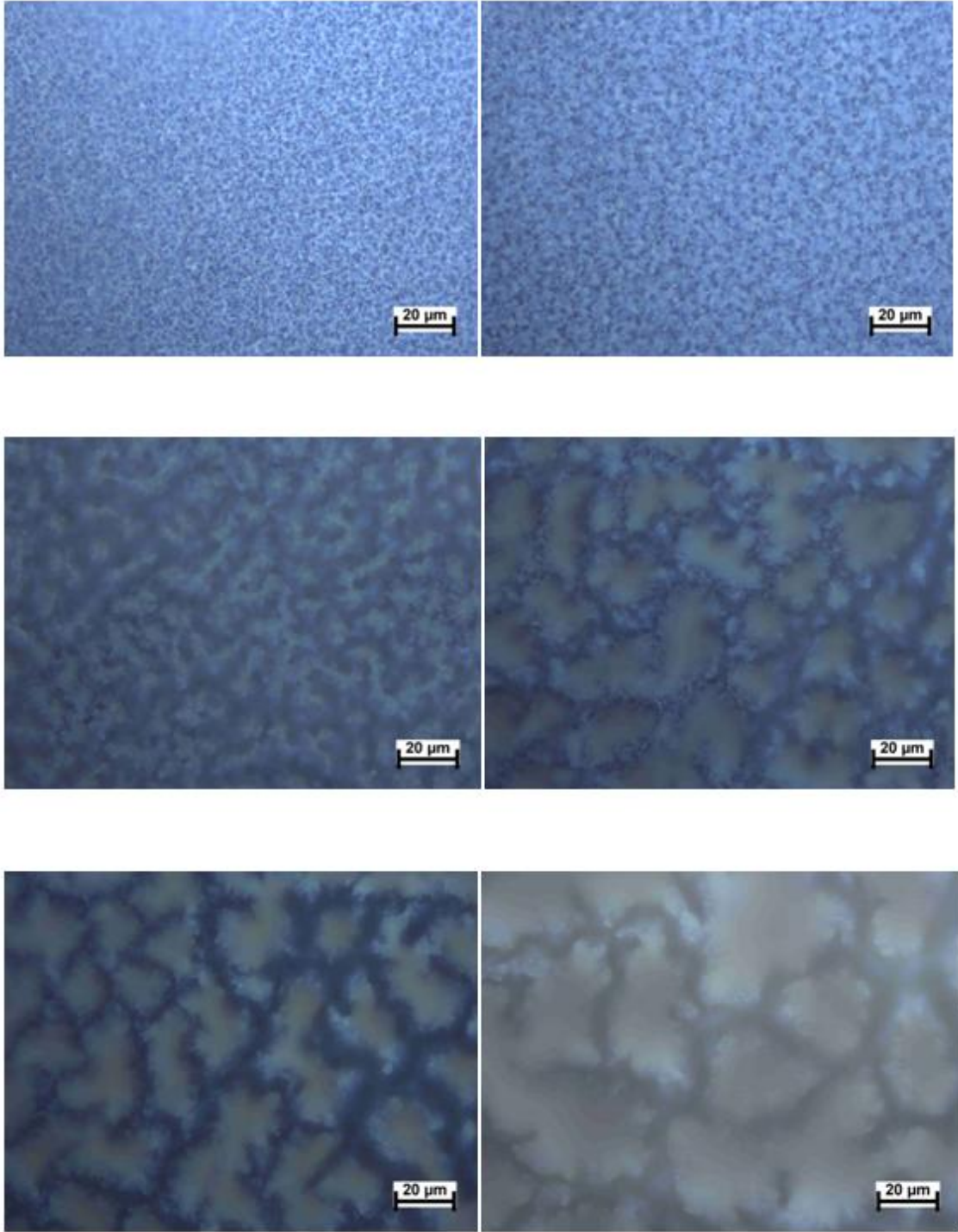


b)

Şekil 5. Değişen anodizasyon sürelerinde **a)** Açık devre gerilimi **b)** Kısa devre akımı.

3.1.2 Akım Yoğunluğu (Current Density)

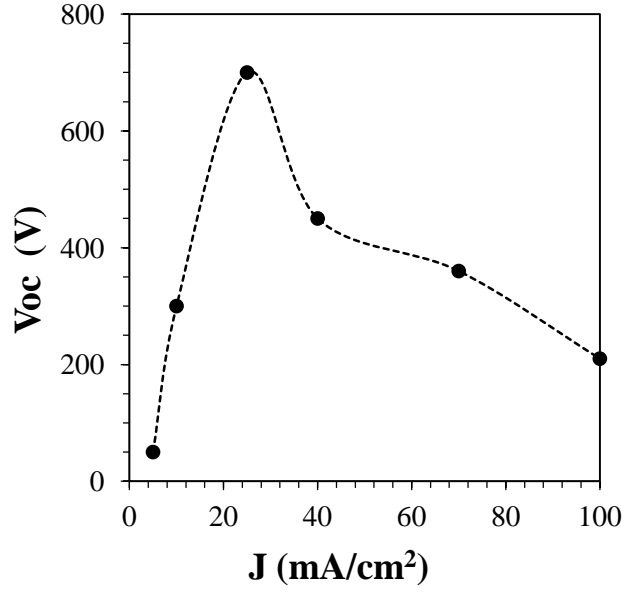
Uygulanan Akım Yoğunluğu 5,10,20,30,50,75 mA/cm² olarak değiştirilirken; anodizasyon zamanı 40 dakika, HF:dH₂O oranı 1:3 ve ışık aydınlatma şiddeti 5000 lüx’de sabit tutulmuştur (Şekil 6). Düşük akım yoğunluklarında GS oluşumu yeni başlarken, akım yoğunluğunun şiddeti arttıkça gözeneklilik de artmıştır.



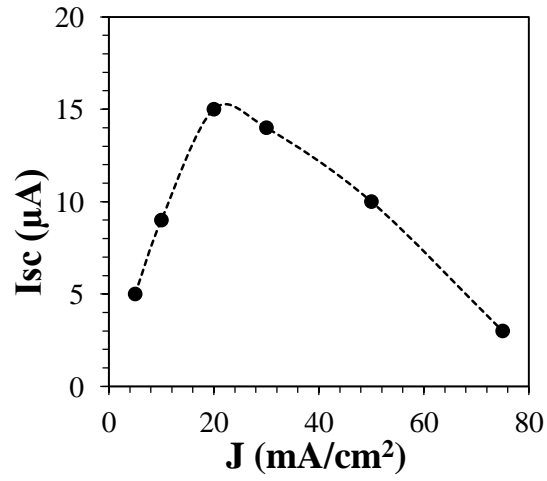
Şekil 6. Akım yoğunlukları sırasıyla **a)** 5 mA/cm², **b)** 10 mA/cm², **c)** 20 mA/cm², **d)** 30 mA/cm² **e)** 50 mA/cm², **f)** 75 mA/cm² 'dır.

Bu akım yoğunluklarında üretilmiş GS'den elde edilen Metal-GS-DHP yapının Voc ve Isc elektriksel parametreleri Şekil 7.a) ve b) 'deki gibidir. Düşük akım yoğunluklarında (5,10 mA/cm²) yüzeyde bağlar yeni kırılmaya başlanmıştır. Hidrojen iyonu birikimi için yeterince boşluk oluşamamıştır. Elektriksel parametrelerin en yüksek olduğu akım yoğunluğu 20 mA/cm²'dir (Voc= 700mV ve Isc =15 µA). Bu akım

yoğunluğunda gözenek boyutları ve toplam boşluk miktarı uygun hale gelmiştir. Akım yoğunluğu daha çok arttığında boşluk çapları ve miktarı olması gerekenden daha fazla artmış ve yapı hidrojen iyonlarını sudan ayırmakta başarısız olmaya başlamıştır.



a)

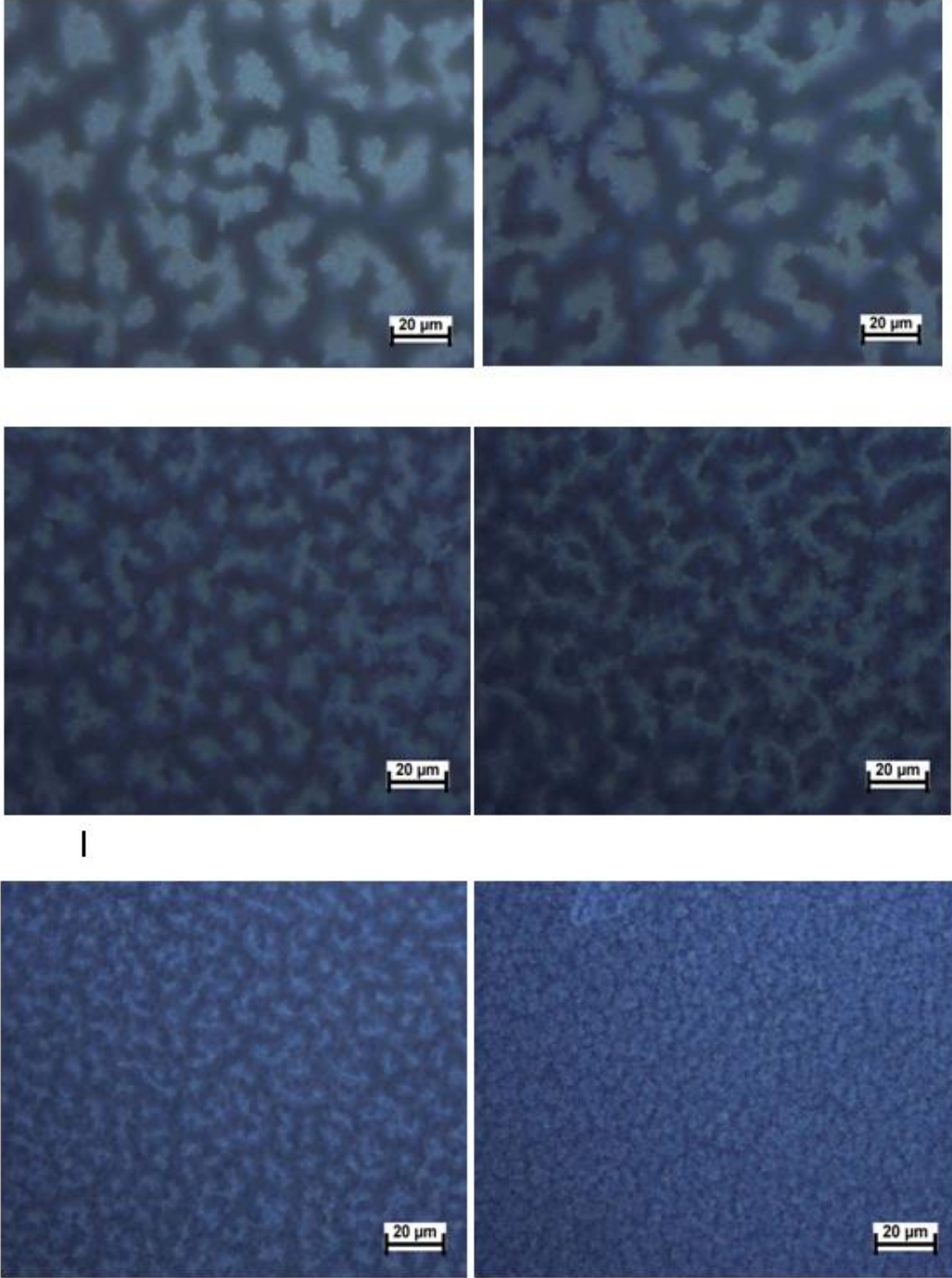


b)

Şekil 7. Değişen akım yoğunluklarında **a)** Açık devre gerilimi **b)** Kısa devre akımı.

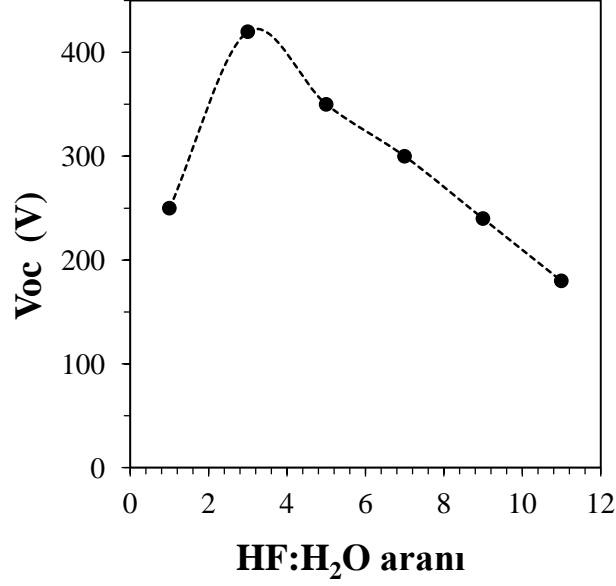
3.1.3 HF:dH₂O Oranı (HF:dH₂O Ratio)

HF:dH₂O çözeltisi oranı 1:1, 1:3, 1:5, 1:7, 1:9, 1:11 olarak değiştirilirken; anodizasyon zamanı 40 dakika, akımyoğunluğu 15 mA/cm² ve ışık aydınlatma şiddeti 5000 lüks’de sabit tutulmuştur. Karışımdaki HF oranı azaldıkça gözenek boyutları küçülmüştür.

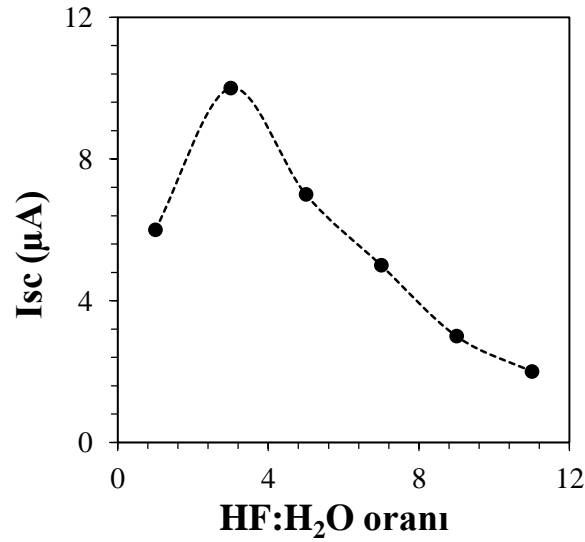


Şekil 8. HF:dH₂O çözeltisi oranı sırasıyla a) 1:1, b) 1:3, c) 1:5, d) 1:7, e) 1:9, f) 1:11 'dir.

Bu HF:dH₂O çözeltisi oranlarında üretilmiş GS'den elde edilen Metal-GS-DHP yapının Voc ve Isc elektriksel parametreleri Şekil 9.a) ve b) 'deki gibidir. Sonuçlar önceki anodizasyon koşullarına benzerdir. Elektriksel parametrelerin en yüksek olduğu HF:dH₂O çözeltisi oranı 1:3'dür. (Voc= 420mV ve Isc =10 µA).



a)

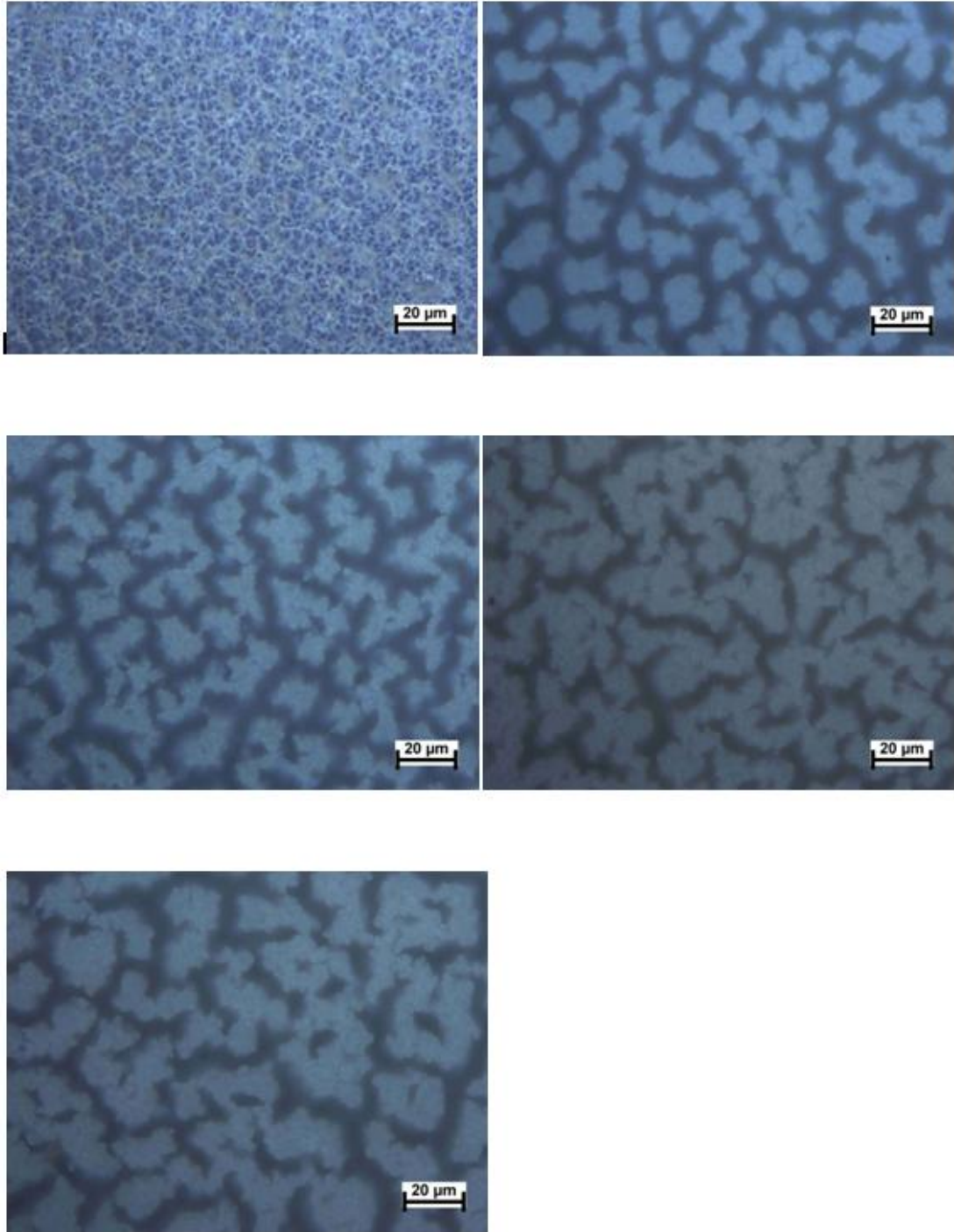


b)

Şekil 9. Değişen HF:dH₂O çözeltisi oranlarında a) Açık devre gerilimi b) Kısa devre akımı.

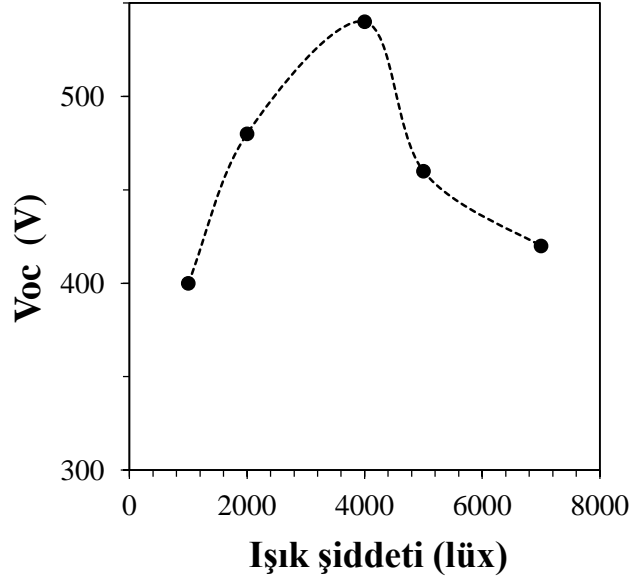
3.1.4 Işık Aydınlatma Şiddeti (Light Intensity)

Işık aydınlatma şiddeti 1000,2000,4000,5000,7000 lüks olarak değiştirilirken; anodizasyon zamanı 40 dakika, akımyoğunluğu 15 mA/cm^2 , HF:dH₂O oranı 1:3 olarak sabit tutulmuştur. 1000 lüks’de daha çok örümcek ağına benzer bir yüzey oluşurken, ışık aydınlatma şiddeti arttıkça beklediğimiz morfolojiye benzer bir yapı oluşmaya başlamıştır.

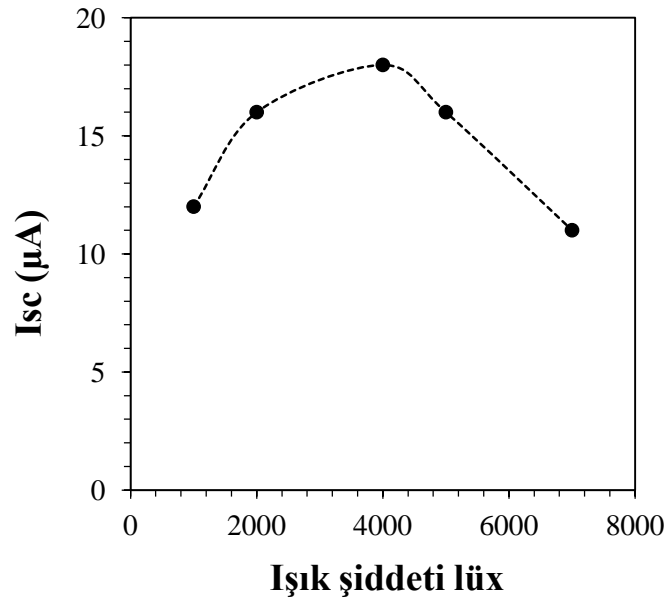


Şekil 10. Işık aydınlatma şiddeti sırasıyla **a)** 1000 lüks, **b)** 2000 lüks, **c)** 4000 lüks, **d)** 5000 lüks, **e)** 7000 lüks’dir.

Bu ışık aydınlatma şiddeti oranlarında üretilmiş GS'den elde edilen Metal-GS-DHP yapının Voc ve Isc elektriksel parametreleri Şekil 11.a) ve b) 'deki gibidir. Sonuçlar diğer anodizasyon koşullarına benzerdir. Elektriksel parametrelerin en yüksek olduğu ışık aydınlatma şiddeti 4000 lüks'dür (Voc= 540mV ve Isc =18 μ A).



a)



b)

Şekil 9. Değişen ışık aydınlatma şiddeti oranlarında **a)** Açık devre gerilimi **b)** Kısa devre akımı.

Anodizasyon koşullarının en iyi değerleri Tablo 1 de özetlenmiştir. Açık devre geriliminde akım yoğunluğunun, kısa devre akımında ise zamanın daha etkin olduğu gözlenmektedir.

Tablo 1. Anodizasyon koşullarının en iyi elektriksel parametreleri

	Zaman	Akım Yoğunluğu	HF:dH ₂ O oranı	Işık Aydınlatma Şideeti (lüx)
En iyi değerler	40 dk	20 (mA/cm ²)	1:3	4000 (lüx)
Voc (mV)	590	700	420	540
Isc (µA)	30	15	10	18

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, GS üretim yöntemi olan anodizasyon şartlarının Metal-GS-DHP'in elektriksel parametrelerine etkisi incelenmiştir. Temel amaç, Metal-GS-DHP'in elektriksel parametrelerini arttırmaktır ve bundan sonar üretilecek pillerin üretim koşullarına ışık tutmaktır. Anodizasyon zamanı (5-100 dk), akım yoğunluğu (5-75 mA/cm²), HF:dH₂O oranı (1:1-1:11) ve ışık aydınlatma şideeti (1000-7000 lüx) aralıklarında değiştirilerek Metal-GS-DHP üretilmiştir. Gözeneklerin, hidrojen içerikli sıvılardan hidrojen + iyonunu ayırabilmesi ve depo edebilmesinin, bir optimum büyüklük aralığı vardır. İmaj görüntülerinden anlaşılacağı üzere gözenek boyutlarının çok küçük olması durumunda depo alanı azdır. Gözeneklerin aşırı büyüme durumunda ise moleküller için GS düz yüzeye benzer ve H⁺ ayrıştırma işlevini gerçekleştiremez. Metal-GS-DHP'in en iyi anodizasyon koşulları ve elektriksel parametreleri Tablo 1'de görülmektedir. Elde edilen tüm sonuçlar, anodizasyon üretim koşullarının Metal-GS-DHP'in elektriksel parametreleri üzerinde etkin olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A. Uhlir, Electrolytic Shaping of Germanium and Silicon. Bell System Tech. J. 35: (1956) 33-347.
- [2] L.T. Canham, Quantum Wire Array Fabrication by Electrochemical and Chemical Dissolution of Wafers. Appl. Phys. Lett. 57:10 (1990) 1046-1048.
- [3] R.L. Smith, S.D. Collins, Porous Silicon Formaton Mechanisms. Journal Appl. Phys. 71:R (1992) 1-21.
- [4] A. Faucaran, F. Paskal-Delnoy, A. Giani, A. Sackda, P. Combette, A. Boyer, Porous Silicon Layers Used for Gas Sensor Applications. Thin Solid Films. 297: (1997) 317-320.
- [5] L.A. Balagurov, S.C. Bayliss, A.F. Orlov, E.A. Petrova, B. Unal, D.G. Yarkin, Electrical Properties of Metal/Porous Silicon/p-Si Structures Whit Thin Porous Silicon Layer., Journal of Appl. Phys. 90:8 (2001) 4184-4190.
- [6] D. G. Yarkin, (2003), Impedance of Humidity Sensitive Metal/Porous Silicon/n-Si Structures. Sensors and Actuators B. 107: (2003)1-6.
- [7] T.D. Dzhafarov, C. Oruc, ve S. Aydın, Humidity-Voltaic Characteristics of Au Porous Silicon Interfaces. J. Phys. D: Appl. Phys. 37, 3: (2004) 404-408.
- [8] D. B. Dimitrov, Current-Voltage Characteristics of Porous-Silicon Layers. Physical Review B. 51,3: (1995) 1562-1566.

- [9] P.M.Z. Hasan, V.K. Sajith, M. Shahnawaze Ansari, J. Iqbal, A. Alshahrie, Influence of HF Concentration of Current Density of Characteristic Morphological Features of Mezoporous Silicon. *Microporous And Mezoporous Materials*. 249: (2017) 176-190.
- [10] M. Das, P. Nath, D. Sarkar, Influence of Etching Current Density on Microstructural Optical and Electrical Properties of Porous Silicon (PS):n-Si Heterostructure. *Superlattices and Microstructures*. 90: (2016) 77-86.
- [11] M. Ramesh, H.S. Nagaraja, Effect of Current Density on Morphological Structural and Optical Properties of Porous Silicon. *Materials Today Chemistry*. 3: (2017) 10-14.
- [12] F. S. Gill, V. Panvar, H. Gupta, G. S. Kalra, S. Chawla, R. Kumar, R. M. Mehra, Study of Growth Dot and Column in Porous Silicon Samples of Various Thicknesses Prepared at a Constant Current Density. *Physica E*. 73: (2015) 110-115.
- [13] M. Ramesh, H.S. Nagaraja, The Effect of Etching Time on Structural Properties of Porous Silicon at The Room Temperature. *Material Today: Proceedings*. 3: (2016) 2085-2090.
- [14] A.S. Khaldun, O. Khalid, Z. Hassan, The Effect of Etching Time of Porous Silicon Solar Cell Performance. *Superlattices and Microstructures*. 50: (2011) 647-658.
- [15] T. D. Dzharfarov, B. Can Omur, C. Oruc, Z.A. Allahverdiev, Hydrogen Sensing Characteristics of Cu-PS-Si Structures. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 35: (2002) 3122-3126.
- [16] C. Oruc, S. Guler, Effect of Au, Ag and Cu Thin Films' Thickness on The Electrical Parameters of Metal-Porous Silicon Direct Hydrogen Fuel Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*. 39: (2014) 20183-20189