



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 28.11.2018
Kabul Tarihi : 04.04.2019

Received Date : 28.11.2018
Accepted Date : 04.04.2019

DC MAGNETRON PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE Ag İNCE FİMLERİN GELİŞTİRİLMESİ: ÇOK İNCE Pt ARA-KATMANIN ROLÜ

DEVELOPMENT OF Ag THIN FILMS BY DC MAGNETRON SPUTTERING METHOD: ROLE OF VERY THIN Pt INTERLAYER

Nihan AKIN SÖNMEZ^{1,}*

¹Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Ankara, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Nihan AKIN SÖNMEZ, nihanakin@gazi.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, ince (~ 10 nm) Ag filmleri cam alttaşlar üzerine farklı sürelerde DC magnetron püskürtme yöntemi ile kaplandı. Ayrıca Ag'nin cam yüzeyine tutunması ve iletkenliğinin iyileştirilmesine destek olması hedefi ile çok ince (~ 2 nm) Pt ara-katmanı cam yüzeyine püskürtülerek Ag/Pt/cam numuneleri üretildi. Analiz sonuçlarından, hazırlanan her bir filmin kübik yapıda, < 1 nm yüzey pürüzlülük değerine ve 5 ohm/kare'den daha düşük yüzey direncine sahip olduğu belirlendi. Ag(9nm)/Pt(2nm)/cam numunesinin 3.02 ohm/kare'lik yüzey direnci ve 0.596 nm'lik RMS yüzey pürüzlülüğü değeri ile diğer hazırlanan numunelere göre daha iyi elektriksel ve morfolojik özelliklere sahip olduğu görüldü. Pt ara-katman oluşturulmasının Ag filminin iletkenliğini artırması yanında kızılötesi yansıtıcılığını da artırdığı gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: İnce Ag film, Pt ara-katman, cam alttaş, kızılötesi yansıtıcı, magnetron püskürtme

ABSTRACT

In this study, thin (~ 10 nm) Ag films were deposited onto glass substrates by DC magnetron sputtering method at different sputtering durations. In addition, Ag/Pt/glass samples were also prepared by sputter very thin (~ 2 nm) Pt interlayer onto the glass surface in order to support the adhesion of the Ag to the glass surface. From the analysis results, it was determined that each prepared film has a cubic structure, surface roughness values of < 1 nm and surface resistance of less than 5 ohm/square. The Ag(9nm)/Pt(2nm)/glass sample was found to have better electrical and morphological properties compared to other prepared samples with a surface resistance of 3.02 ohm/square and RMS surface roughness of 0.596 nm. It was observed that the use of the Pt interlayer increased the conductivity and infrared reflectivity of the Ag film.

Keywords: Thin Ag film, Pt interlayer, glass substrate, infrared reflector, magnetron sputtering

GİRİŞ

İnce metal filmler; düşük yayıcı camlar (low-E glass), UV spektrumu engelleyici şeffaf iletken kaplamalar, özellikle organik güneş hücreleri için şeffaf elektrotlar ve yüzey plazmon rezonansı bazlı (SPR) biyosensörler için aktif materyal olarak kullanımları gibi bir çok önemli uygulama alanı nedeni ile dikkat çeken malzemeler arasında yer alır (Dink ve ark., 2015, Linnet ve ark., 2018, Wijaya ve ark., 2011, Salinas ve ark., 2012). Şeffaf iletken ince filmlerin modern teknolojilerdeki yaygın kullanımı ayarlanabilir ışık iletimi ve elektriksel karakteristikleri açıklayıcı mühendislik çözümleri gerektirir.

Birçok metal, özellikle gümüş (Ag), cam veya oksit kaplı cam gibi amorf yüzeyler üzerinde adacıklı yapıya sahip olarak büyümektedir (Junk, 2004) ve bu durum görünür bölgede yüksek soğurma ve kızılötesi (KÖ) bölgede düşük yansıtıcılık oluşturmaktadır. Adacıklı büyüme modu, kaplama süresince oluşan termal enerjiye bağlı olarak metal atomlarının yüzeyde kabulünün azalması, uygun potansiyel enerji noktası oluşmaması ve böylece metal atomlarının kümeleşmesi sonucunda oluşmaktadır. Diğer bir ifade ile, metal atomları ve alttaş atomlarının etkileşme enerjisi

yüksek ise adacık oluşum oranı azalacaktır. Son zamanlarda araştırmacılar, atomik kümeleşmeyi minimize edecek kaplama şartlarının (başlangıç basıncı, gaz basıncı, dönme hızı, alttaş-hedef açısı/mesafesi, alttaş sıcaklığı, kaplama süresi vb.) optimizasyonunu yaparak, çok ince gümüş katmanını film sürekliliğinde elde edilebilmek için büyük çaba sarfetmektedir (Mashaieky ve ark., 2002, Kim ve ark., 2010, Hojabri ve ark., 2017). Filmin incelenmesi sonucu yüzey direnci artacağından, iyi bir büyütme süreci ve optimizasyonu ile düşük yüzey direncinin elde edilmesi temel uğraşlar arasında yer almaktadır.

Ag ince filmlerin termal kararlılığı oluşturulduğunda cam alttaşa tutunumu başarılı ve yüksek iletkenliğe sahip film elde edilebilir. Yapılan çalışmalar, Ag filmlerin cam alttaşlara daha iyi tutunmasında Ag kaplamadan önce kalınlığı oldukça düşük olan (1-2 nm) metal tabaka oluşturmanın etkili olduğunu göstermiştir (Park ve ark., 2011, Fukuda ve ark., 2008, Akın Sönmez ve ark., 2018). Ag elektrot üretiminde özellikle çok ince Pt'nin tutunmayı artırıcı katman olduğu bilinmektedir (Yukimoto ve ark., 2013). Bununla birlikte, Al, Ni-Cr, Ti, Nb gibi ara-tabaka oluşturmanın görünür bölge geçirgenliğinde kayıp oluşturması da mümkündür (Park ve ark., 2011).

Düşük yayıcı cam üretiminde D/Ag-(MÇ)/D/Ag-(MÇ)/D (D: dielektrik katman, MÇ: Metal çekirdekleştirici) şeklinde çoklu yığınlar oluşturarak Ag'nin sandviçlenmesi ile yüksek verimlilik sağlanmaktadır. Bu sistemde Ag, KÖ spektrumun büyük bir yüzdesini (ısı enerjisi) yansıtırken, dielektrik katmanlar hem görünür ışığın yansımalarını hem de metal katmanın oksitlenmesini engeller. Yüksek iletkenliğe sahip optik olarak şeffaf Ag veya dielektrik ile sandviçlenmiş Ag elektrotlar, özellikle organik fotovoltajik (OPV) hücrelerde İndiyum-bağımsız şeffaf elektrot olarak geliştirilmektedir (Cattin ve ark., 2013). Şeffaf elektrot üretiminin temelinde ince Ag filmi geliştirmek en önemli başarıdır. Bu elektrotların, OPV uygulamalarında, aygıt ömrünü azaltmaması için üzerlerine metal-oksit bir film kaplanması önerilmektedir (Greenbank ve ark., 2018).

Bu çalışmada, şeffaf Ag/cam ve Ag/Pt/cam ince filmleri DC magnetron püskürtme yöntemi ile oluşturularak Ag'nin cam yüzeyindeki film kalitesine ~ 2 nm kalınlıklı Pt'nin rolü araştırıldı. Bir başka ifade ile, Ag'nin film kalınlığı optimizasyonu yapıldı ve Pt'nin, Ag filminin yüzey tutunmasını artırarak film sürekliliğinde ve yüksek iletkenlikte büyümesinde iyileştiricilik rolü sağlaması hedeflendi. Filmlerin yapısal, morfolojik, optiksel ve elektriksel özellikleri XRD, AFM, UV-Vis geçirgenlik, FTIR Spektrometre ve dört nokta prob ölçümleri ile değerlendirildi.

DENEYSEL DETAYLAR

Ag ve Ag/Pt ince filmleri 6 mm kalınlıklı cam üzerine magnetron püskürtme tekniği ile Ag için 50 W ve Pt için 30 W DC güç değerlerinde farklı sürelerde kaplanarak üretildi. Kaplama öncesi, cam alttaşlar ilk olarak yumuşak sabun çözeltilisinde temizlendi, daha sonra deiyonize su içinde iyice yıkandı. Son olarak ise 15 dakika boyunca aseton içerisinde ultrasonik banyoda bekletildi. Kaplamalarda; 2" çapında, %99.99 saflıkta Ag ve Pt metalik hedefler kullanıldı. Filmlerin üretimi süresince alttaş sıcaklığı (RT), kaplama basıncı (30 mTorr) dönme hızı (3 rpm), hedef-numune arası mesafe (12 cm) gibi kaplamayı etkileyebilecek parametreler sabit tutuldu. Filmlerin kalınlıkları büyütme süresince içeride bulunan kalınlık ölçer ile takip edildi ve numuneler dışarı çıkartıldığında kalınlıkları Dektak 150 profilometre kullanılarak teyit edildi. Cam üzerine 50, 40 ve 35 sn'de kaplanan Ag (sırasıyla, S1, S2 ve S3), Ag(40sn)/Pt(30sn) ve Ag(35sn)/Pt(30sn) (sırasıyla S4 ve S5) filmlerinin kaplama süresi ve kalınlık bilgileri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Geliştirilen Filmlerin Kaplama Süreleri ve Kalınlıkları

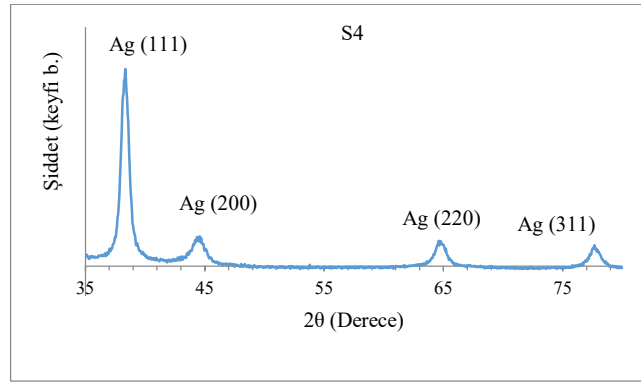
Numune kodu ve yapısı	Ag kaplama süresi (sn)	Pt kaplama süresi (sn)	İnce film kalınlığı (nm)
S1(Ag/cam)	50	-	13
S2(Ag/cam)	40	-	9
S3(Ag/cam)	35	-	7.5
S4(Ag/Pt/cam)	40	30	11
S5(Ag/Pt/cam)	35	30	10

Ag filmlerin yapısal özellikleri düşük-açılı XRD tekniği ile CuK α kaynağı ($\lambda = 1.7458 \text{ \AA}$) kullanılarak ölçülen kırınım pikleri yardımı ile değerlendirildi. Filmlerin yüzey morfolojileri yüksek performanslı AFM (hp-AFM) cihazı ile incelendi. Tüm AFM ölçümleri dinamik modda oda sıcaklığında alındı. Filmlerin yüzey pürüzlülüğünün karekök ortalaması (RMS), AFM görüntülerinden, $RMS(nm) = [\sum(Z_i - Z_{ave})^2/N]^{1/2}$ eşitliği kullanılarak hesaplandı. Burada Z_i , Z' 'nin akım değeri, Z_{ave} tarama alanında Z' 'nin ortalama değeri ve N ise nokta sayısıdır. Filmlerin optik

geçirgenlik ve KÖ yansıtıcılık spektrumları 200-2500 nm aralığında UV-Vis-NIR spektrometre (Perkin Elmer Lambda 1050) ile ölçüldü. Filmlerin yüzey direnci ölçümleri Lakeshore Hall Etkisi sistemi kullanılarak dört nokta prob tekniği ile gerçekleştirildi.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Cam üzerine büyütülen Ag filmleri (S1, S2, S3) ile 40 ve 35 sn sürede (S2 ve S3 numuneleri ile aynı) 30 sn süreyle kaplanan Pt üzerine büyütülen Ag/Pt/cam (S4 ve S5) numunelerinin yapısal, morfolojik ve elektro-optik özellikleri değerlendirildi. Geliştirilen tüm Ag filmlerin kristallik özelliği taşıdığı ve sürekli film kalitesinde olduğu Şekil 1’de bir örnek olarak verilen Ag/Pt/cam yapısının XRD kırınım deseninden görülmektedir. $2\theta = 38.25, 44.38, 64.58$ ve 77.66 derecelerde sırasıyla (111), (200), (220) ve (311) düzlemlerine karşılık gelen Ag kırınım pikleri mevcuttur. Kırınım pik pozisyonları, büyütülen Ag filmlerin kübik faza sahip olduğunu göstermektedir (Wang ve ark., 2010). Bununla birlikte, oldukça ince kalınlıkta olmasından ötürü Pt’nin XRD deseninde görülmemesi beklenen bir sonuçtur.



Şekil 1. Ag/Pt/cam Yapısının XRD Kırınım Deseni

Farklı kaplama sürelerinde üretilen Ag filmleri (S1, S2 ve S3) ile aynı kalınlığa sahip (~ 2 nm) Pt ara-katmanı üzerine farklı sürelerde üretilen Ag filmlerin (S4 ve S5) yüzey pürüzlülük ve yüzey dirençleri Tablo 2’de görülmektedir.

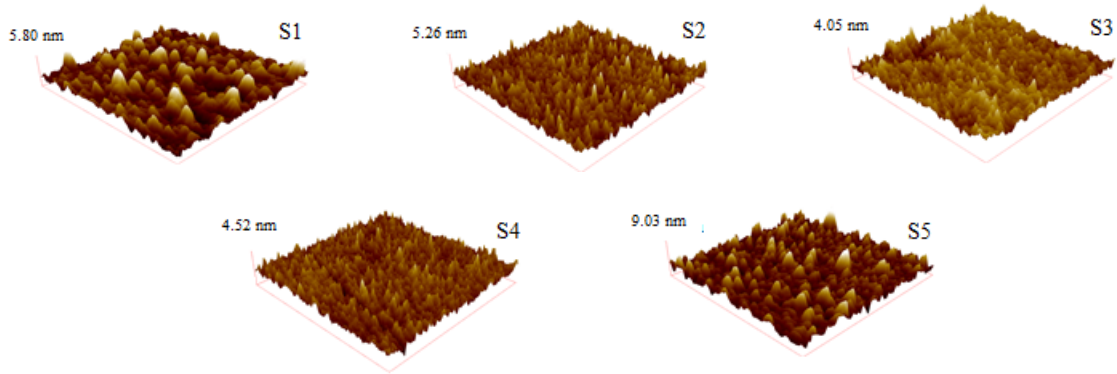
Tablo 2. Filmlerin Yüzey Pürüzlülüğü ve Yüzey Dirençleri

Numune kodu	Yüzey pürüzlülüğü (nm)	Yüzey direnci (ohm/kare)
S1	0.757	4.83
S2	0.576	5.45
S3	0.500	5.52
S4	0.596	3.02
S5	0.584	3.22

S1, S2 ve S3 numunelerinde, beklenildiği gibi, Ag kalınlığının artması ile filmlerin yüzey direnci azalmıştır. Diğer bir ifade ile, metal ince filmlerin kalınlıklarının artması dirençlerinin azalmasına yol açar. Ag kalınlığı (13 nm) en fazla olan S1 (Ag/cam) numunesinin yüzey direnci 4.83 ohm/kare olarak ölçülmüştür. Bu kalınlığa en yakın S4 (Ag/Pt) numunesinin (11 nm) yüzey direnci ise 3.22 ohm/kare değerine sahiptir. S4 filminin kalınlığının S1’den daha düşük olmasına rağmen yüzey direncinin düşük olması, 2 nm civarındaki Pt ara-katmanının Ag film iletkenliğini oldukça iyileştirdiğini göstermektedir. Geliştirilen filmler için elde edilen düşük direnç değerleri, Ag/cam filmlerinin süreklilikle büyütüldüğünü göstermekte ve çok ince Pt ara-katmanının ise Ag/Pt/cam filminin, hedeflendiği şekilde, iletkenliğini artırdığı anlaşılmaktadır.

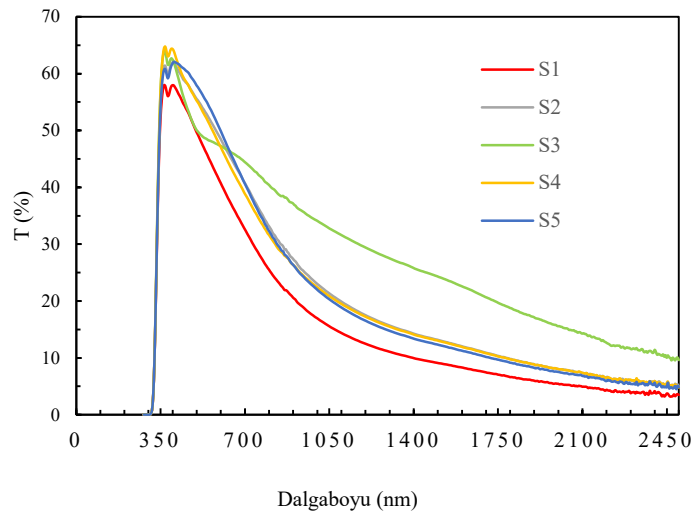
Üretilen Ag filmlerin her birinin $3 \times 3 \mu\text{m}^2$ ’lik alandaki AFM görüntüleri Şekil 2’de görülmektedir. Görüntülerden Ag ince filmlerin homojen, düzgün ve çatlaksız olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, S1, S2 ve S3 numuneleri kendi aralarında kıyaslandığında Ag kalınlığı (13 nm) en fazla olan S1 (Ag/cam) numunesinin yüzey pürüzlülüğü de beklenildiği gibi 0.757 nm ile en fazla olanıdır. Ayrıca, S2-S4 ve S3-S5 numuneleri de kendi aralarında kıyaslandığında (S4 ve S5 sırasıyla S2 ve S3 numunelerinin ~ 2 nm Pt ara-katmanlı durumlarıdır) oluşturulan Pt ara-katmanının filmlerin yüzey pürüzlülük değerlerini çok düşük miktarlarda artırdığı görüldü. Yüzey pürüzlülüğünün

artması ile yüzey direncinde oluşan azalma, büyütülen filmlerin partikül büyüklüğünün, diğer bir ifade ile kristal kalitesinin artması ile açıklanabilir.



Şekil 2. Ag Filmlerin AFM Yüzey Görüntüleri

Metal yüzeylerde, yüzey pürüzlülüğü, yüksek görünür yansıma elde etmek için önemli bir faktördür. Başka bir ifade ile, düz yüzeyli numunelerin yüksek yansımalara yol açması beklenir. Tablo 2'den görüldüğü gibi numunelerin yüzey pürüzlülüklerinin Pt ara-katmanı varlığında artması görünür bölge geçirgenliğini artırıcı özellik sağlar. Ayrıca, filmlerin görünür bölge geçirgenliğinin film kalınlığı ile ters orantılı, KÖ yansıtıcılığının ise yüzey direnci ile ters, kalınlık ile doğru orantılı olduğu bilinmektedir (Hagen ve ark., 1903). Bu temel bilgiler doğrultusunda, filmlerin Şekil 3'de verilen optik geçirgenlik spektrumu dikkate alındığında en kalın olan S1 (Ag/cam) numunesinin KÖ geçirgenliğinin en az olduğu görülmektedir. Ancak, beklenildiği gibi filmin kalınlığının (13 nm) görünür bölge geçirgenliğini de azalttığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, yüzey direnci en düşük olan S4 (Ag/Pt) numunesinin KÖ geçirgenliğinin S1 numunesine yakın olduğu, bununla birlikte görünür geçirgenliğinin ise en yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, hem çok ince (7.5 nm) olmasından hem de 5.52 ohm/kare gibi yüksek yüzey direncinden ötürü S3 numunesinin KÖ optik geçirgenliği, beklendiği gibi, diğer numunelere göre daha yüksektir.



Şekil 3. Ag Filmlerin Optik Geçirgenlik Spektrumları

Yapılan elektriksel ve optiksel analizler neticesinde Ag(9 nm)/Pt(2 nm)/cam (S4) numunesinin 3.02 ohm/kare yüzey direnci ve %64 görünür bölge geçirgenlikli olarak üretimini başardığı görülmektedir. Ayrıca, S5 numunesi ile %62 görünür geçirgenlik ve ortalama %90 KÖ yansıtıcılık elde edilmesi, kullanılan malzeme miktarı avantajı sağlaması açısından önemli görülmektedir. Bu avantaj özellikle enerji verimli (düşük yayıcı) cam üreticileri için önemli bir ekonomik kazanç oluşturabilecektir. Park ve ark., 2011 yılında hazırladıkları Ag(9 nm)/Ta(1 nm)/cam yapısının görünür bölge geçirgenliğini %61 ve yüzey direncini 8.2 ohm/kare olarak buldular. Son zamanlardaki çalışmalara bakıldığında, Miao ve ark., 2014 yılında RF püskürtme tekniği ile oluşturdukları Ag(10nm)/cam filmi için 65.7 ohm/kare değerinde çok yüksek sayılabilecek yüzey direnci elde ettiler. Ag(15nm)/AZO(30nm)/cam için ise 3.8 ohm/kare yüzey direnci ve %63 civarında görünür geçirgenlik, %85 civarında KÖ yansıtıcılık değerlerine

ulaştılar. Bu çalışmada kullanılan filmlerin Ag kalınlığı, elektriksel ve optik özelliklerine kıyasla çalışmamızda elde edilen elektriksel ve optik değerlerin daha iyi nitelikte olması nedeni ile 2 nm Pt ara-katmanlı 10-11 nm Ag filmi geliştirmenin avantajlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, Huang ve ark., 2018 yılında Cu metal tabaka (katman) oluşturmadan Ag'nin direk katkılanması ile, 6 nm kalınlıklı Ag(Cu) filmleri şeffaf (%80 geçirgen) ve iletken (14.1 ohm/kare) olarak başardıkları görülmektedir. Ancak, yüzey dirençlerinin yüksek olması, özellikle düşük yayıcı cam uygulamaları için bir dezavantaj oluşturmaktadır. Literatür açısından bakıldığında, bu çalışmada elde edilen Ag/cam ve özellikle Ag/Pt/cam numunelerin oldukça iyi iletkenliğe sahip olmaları sayesinde KÖ yansıtıcılıklarının çok yüksek (ortalama %90) olması avantajına sahip oldukları görülmektedir. Bununla birlikte %60 dolayında olan görünür geçirgenliklerinin %80-90 civarına Ag'nin üstüne AZO, TiO₂ gibi metal-oksit yansıma önleyici ince tabaka oluşturulması ile artırılabilceği düşünülmektedir.

Ayrıca, filmlerin alttaş yüzeyine tutunmalarında standart hale gelen, bant testi (Standard Test Methods, 2017) geliştirilen filmlere uygulandı. Ag'nin cam üzerine büyütüldüğü Ag/cam yapılarının, Ag kalınlığı azaldıkça yüzeyden kalkma eğiliminde oldukları, bant yüzeyine Ag partiküllerinin yapışmış olması ve bazı bölgelerden filmin kalkması ile gözlemlendi. Bununla birlikte, ~ 2 nm Pt çok ince ara-katmanın kullanıldığı Ag/Pt/cam numunelerinin bant testinden başarılı olarak geçtiği belirlendi.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, cam üzerine DC magnetron püskürtme tekniği ile çok ince Ag filmleri, ~ 2 nm kalınlıklı Pt ara-katmanlı ve ara-katmansız olarak geliştirildi. Geliştirilen Ag filmlerin, Pt ara-katman sayesinde iyi iletkenlik, yüksek görünür geçirgenlik ve KÖ yansıtıcılık niteliklerine sahip oldukları belirlendi. Bu nitelikler, geliştirilen filmlerin, enerji verimli cam uygulamalarında düşük yayıcı metal film ve elektro-optik aygıtlar için şeffaf elektrot olarak kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Gerekli deneysel çalışmaları yapmama imkan veren Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Akın Sonmez, N., Donmez, M., Comert, B., Ozcelik, S. (2018). Ag/M-seed/AZO/glass structures for low-E glass: Effects of metal seeds, *International Journal of Applied Glass Science*, 9(3), 383-391.
- Cattin, L., Bernède, J.C., Morsli, M. (2013). Toward indium-free optoelectronic devices: Dielectric/metal/dielectric alternative transparent conductive electrode in organic photovoltaic cells, *Pysica Stat. Sol. A*, 210(6), 1047-1061.
- Ding, G., Clavero, C., Schweigert, D., Le, M. (2015). Thickness and microstructure effects in the optical and electrical properties of silver thin films, *AIP Advances*, 5(11), 117234.
- Fukuda, K., Lim, S.H., Anders, A. (2008). Coalescence of magnetron-sputtered silver islands affected by transition metal seeding (Ni, Cr, Nb, Zr, Mo, W, Ta) and other parameters, *Thin Solid Films*, 516, 4546-4552.
- Greenbank, W., Hirsch, L., Chambon, S. (2018). Electrode de-wetting as a failure mechanism in thermally-aged OPV devices, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 178, 8-14.
- Hagen, E., Uber Rubens, H. (1903). "Beziehungen des Reflexions-und Emissionsvermögens der Metalle zu ihrem elektrischen Leitvermögen, *Ann Phys.* 316, 873-901.
- Hojabri, A., Kavyani, Z., Ghoranneviss, M. (2017). Effect of substrate temperatures on structural and morphological properties of nano-crystalline silver thin films grown on silicon substrates, *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 27(1), 53-60.
- Huang, J., Liu, X., Lu, Y., Zhou, Y., Xu, J., Li, J., Tan, R. (2018). Seed-layer-free growth of ultra-thin Ag transparent conductive films imparts flexibility to polymer solar cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 184, 73-81.
- Jung, Y.S. (2004). Study on texture evolution and properties of silver thin films prepared by sputtering deposition, *Applied Surface Science*, 221(1-4), 281-287.

Kim, W.M., Ku, D.Y., Lee, K.S., Cheong, B. (2010). Effect of oxygen content and deposition temperature on the characteristics of thin silver films deposited by magnetron sputtering, *Applied Surface Science*, 257(4), 1331-1336.

Linnet, J., Walther, A.R., Wolff, C., Albrektsen, O., Mortensen, N.A., Kjelstrup-Hansen, J. (2018). Transparent and conductive electrodes by large-scale nano-structuring of noble metal thin-films, *Optical Materials Express*, 8(7), 1733-1746.

Mashaieky, J., Shafieizadeh, Z., Nahidi, H. (2002). Effect of substrate temperature and film thickness on the characteristics of silver thin films deposited by DC magnetron sputtering, *The European Physical Journal-Applied Physics*, 60(2), 20301.

Miao, D., Jiang, S., Zhao, H., Shang, S., Chen, Z. (2014). Characterization of AZO and Ag based films prepared by RF magnetron sputtering, *Journal of Alloys and Compounds*, 616, 26-31.

Park, S.H., Lee, K.S., Reddy, A.S. (2011). Low emissivity Ag/Ta/glass multilayer thin films deposited by sputtering, *J Appl Phys*. 110(6), 063508.

Salinas, J.F., Yip, H.L., Chueh, C.C., Li, C.Z., Maldonado, J.L., Jen, A.K.Y. (2012). Optical design of transparent thin metal electrodes to enhance in-coupling and trapping of light in flexible polymer solar cells, *Advanced Materials*, 24(47), 6362-6367.


Standard Test Methods for Pressure-Sensitive Adhesive-Coated Tapes Used for Electrical and Electronic Applications, ASTM International, (2017). West Conshohocken, PA, ASTM D1000-17, www.astm.org (27.11.2018)

Wang, P., Huang, B., Lou, Z., Zhang, X., Qin, X., Dai, Y., Zheng, Z., Wang, X. (2010). Synthesis of highly efficient Ag-AgCl plasmonic photocatalysts with various structures, *Chemistry-A European Journal*, 16(2), 538-544.

Wijaya, E., Lenaerts, C., Maricot, S., Hastanin, J., Habraken, S., Vilcot, J.P., Boukherroub, R., Szunerits, S. (2011). Surface plasmon resonance-based biosensors: From the development of different SPR structures to novel surface functionalization strategies, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 15(5), 208-224.

Yukimoto, N., Tsutsui, M., He, Y., Shintaku, H., Tanaka, S., Kawano, S., Kawai, T., Masateru, T. (2013). Tracking single-particle dynamics via combined optical and electrical sensing, *Sci Rep.*, 3, 1855, 1-7.

ORCID

Nihan AKIN SÖNMEZ  <https://orcid.org/0000-0002-2609-9657>