Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 22, Sayı 2, 2017 ARAŞTIRMA

DOI: 10.17482/uumfd.336442

TERMİYONİK VAKUM ARK İLE ÜRETİLEN InGaAsN İNCE FİLMLERİN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Şadan KORKMAZ [*]

Alınma: 05.04.2016; düzeltme: 07.04.2017; kabul: 20.07.2017

Öz: Bu çalışmada InGaAsN ince filmler ilk defa farklı bir teknik olan Termiyonik Vakum Ark (TVA) tekniği ile üretilmiştir. InGaAsN ince filmler üretilirken TVA üretim parametreleri belirlenmiştir. İnce filmler üç farklı alt taş üzerine gerçekleştirilmiştir. Bunlar cam, Si ve Polietilen tereftalat (PET) alt taş malzemedir. Üretilen ince filmlerin XRD analizleri ile kristal yapıları aydınlatılmaya çalışılmıştır. Yüzey bileşenleri için EDX analizi kullanılmıştır. Filmlerin yüzey oluşumları atomik kuvvet mikroskobu ile görüntülendi. UV-Vis spektrofotometresi ile elde edilen soğurma değerlerinden ise yapıların yasak enerji aralıkları değerleri incelenmiştir. Sonuçlara göre, farklı alt taşlar üzerine farklı atomik bileşimler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: InGAsN, Yüzey özellikleri, Optik özellikler, İnce film.

Some Physical Properties of the InGaAsN Thin Films Deposited by Thermionic Vacuum Arc

Abstract: In this paper, InGaAsN thin films were deposited by Thermionic Vacuum Arc (TVA) for the first time. Deposition parameters were determined. These films were grown on different type substrate material. These are glass, Si and poly Polyethylene terephthalate (PET) materials. Crystal structures of the produced samples were investigated by XRD analysis of the produced samples. Atomic concentrations of the deposited samples were investigated by EDX. The surface properties of the films were imaged by atomic force microscopy. Band gap values were calculated by optical method from the absorbance spectra of the UV-Vis spectrophotometer. According to obtained results, different atomic ratios were detected.

Keywords: InGaAsN, Surface properties, Optical properties, thin film.

1. GİRİŞ

GaAs bileşikleri oldukça yüksek enerji verimli (~% 40-45) güneş pili üretimlerinde kullanılmaktadır. GaAs bileşiği farklı katkı elementleri ile katkılanarak farklı özelliklerde yeni alaşımlar elde edilmektedir. Bunlardan en önemlilerinden bir tanesi ve ümit vadeden alaşım olarak isimlendirilen InGaAsN alaşımlarıdır. Bu alaşımlarda azot katkı miktarı oldukça düşük olması gerekmektedir (< %4). Bu tür azot katkılı alaşımlara seyreltik katkılı bileşikler olarak isimlendirilirler ve azot elementi negatif bant aralığı göstermektedir (Dumitras, 2003). Bu bileşik aynı zamanda kızıl ötesi lazerlerde kullanılmaktadır. GaAs bileşiklerin yasak enerji aralıkları 1.42 eV civarındadır. Seyreltik azot katkılı InGaAsN bileşiğinin yasak enerji aralığı ise yaklaşık 1.0 eV civarındadır. Bu özellikleri ile InGaAsN bileşikler oldukça popüler ve ilgi duyulan malzemelerdir. InGaAsN bileşikleri moleküler demet büyütme teknikleri ile üstün kalitede üretilebilmektedir. Bu çalışmada ise farklı bir büyütme tekniği kullanılarak üretimler yapılmıştır. Katkılama oranı %5 civarında olan seyreltik azot katkı oranı ile üretilen yarı iletkenler, büyük bir yasak enerji aralığı değişimine sahiptirler. Değişim yasak enerji aralığının azalması yönünde gerçekleşir. Seyreltik azotlu yapılar aynı zamanda dikey boşluk yayınım lazerleri ve yüksek verimli güneş hücreleri için ümit vadeden malzemelerdendir (Adamcyk ve diğ. 2002; Kondow ve dig. 1996).

[*] Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 26480, Eskişehir
İletişim Yazarı: Şadan Korkmaz (skorkmaz@ogu.edu.tr)

Her hangi bir materyalin optoelektronik aygıtlarda kullanılması için katkılanmış yapının optoelektronik özelliklerinin kullanılabilirliği ve üretim teknolojinin basit olması gerekir. Bu iki özellik değerlendirildiğinde InGaAsN ve GaAsN alaşımları sahip oldukları özellikleri nedeniyle oldukça tercih edilmektedirler.

InGaAsN ve GaAs bileşikleri moleküler demet epitaksiyel büyütme yöntemi ile büyütülebilmektedir (Dumitras, 2003; Adamcy vediğ. 2002; Kondow ve diğ 1996; Yamaguchi ve diğ 2008). Bu yönteme ek olarak farklı bir üretim tekniği olarak ise termiyonik vakum ark (TVA) tekniği galyum bileşiklerinin üretilmesinde kolay ve hızlı bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Senay ve diğ. 2015; Pat ve diğ. 2015; Özen ve diğ. 2015; Pat ve diğ. 2015b). Bu çalışmada, bu farklı teknik ilk defa InGaAsN bileşikleri oldukça ince filmler olarak üretilmeleri TVA tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen filimlerin daha sonra ise kalınlık ölçümleri, X-ışın desenleri, yüzey görüntülemesi, yüzey pürüzlülük ölçümleri, atomik yüzde oranları, geçirgenlik, soğurma ve yasak enerji aralıkları belirlenmiş ve mevcut kaynaklardaki değerler ile karşılaştırılarak yapıların doğrulamaları gerçekleştirilmiştir.

2. FİLM ÜRETİM SİSTEMİ

TVA sistemi anot plazması üreten bir sistemdir. Yüksek ve çok yüksek vakum değerlerinde çalışmaktadır. Bu sistem ile birçok tür ince filmler üretilebilmektedir. Üretilen bu filmler metal kaplamalar olduğu gibi, seramik, metal oksit, yarı iletken, süper iletken gibi malzemelerinde kaplamaları kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu kaplamalar cam üzerine yapılabildiği gibi çeşitli kristal yapılar, esnek yapılar ve kumaş gibi malzemeler kolaylıkla kaplanabilmektedir. Bu çalışmada ilk defa InGaAsN ince filmlerin üretimi yapılmış ve özellikleri incelenmiştir. Kullanılan TVA sistemi şematik olarak Şekil.1'de gösterilmiştir.

TVA sistemi ile bugüne kadar üretilen ince film kaplamaların incelenmesi sonucunda filmlerin bir takım ortak özelliklere sahip olduğu bulunmuştur. Bunlar;

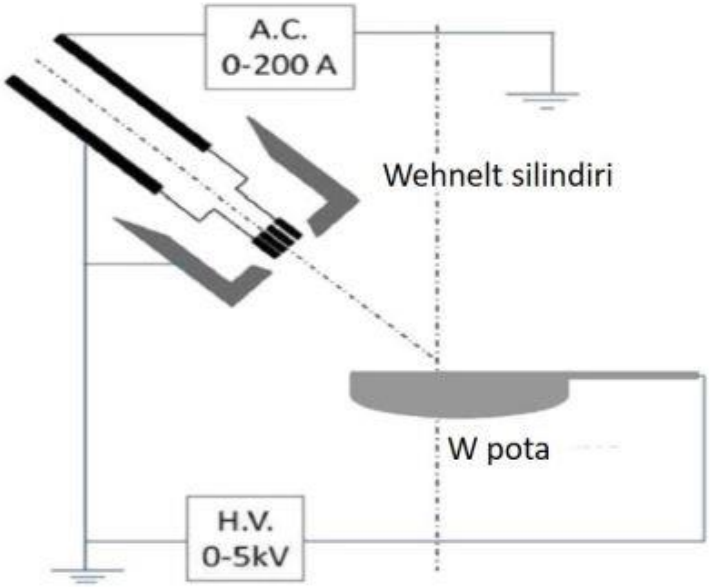
- yüksek saflıklarda ince filmlerin üretilebilir,
- İnce filmlerin yüzey tutunmaları oldukça yüksektir,
- İnce filmlerin yüzey pürüzlülüğünün düşük olduğu gözlenmiştir.
- İnce filmlerin oldukça sıkı yapıda olduğu gözlenmiştir,
- İnce filmlerin TEM analizleri sonucunda üretilen ince filmlerin nano desenler şeklinde olduğu gözlenmiştir,
- Çok yüksek erime sıcaklığına sahip olan materyallerin ince filmleri kolaylıkla üretilebilmektedir,
- TVA plazmalarının iyon enerjileri kontrol edilebildiğinden dolayı ince filmin alt taş üzerine difüzyon derinliği isteğe bağlı olarak değişebilmektedir,
- TVA ile kaplama yapılırken ince film depolama oranı ayarlanabilmektedir (Senay ve diğ. 2015; Pat ve diğ. 2015; Özen ve diğ. 2015; Pat ve diğ. 2015b).

InGaAsN ince filmler ilk defa TVA cihazı kullanılarak üretilmişlerdir. InGaAsN ince filmler üretimi TVA sistemi ile farklı bir yöntem kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemde tungstenden imal edilmiş olan bir pota içerisine eşit miktarlarda In, GaAs ve GaN maddeleri konulmuştur. Elektron tabancasından çıkan elektronlar yüksek voltaj altında hızlandırılarak önce pota içerisindeki bu malzemelerin buharlaşmasına, daha sonra da plazmalarının oluşmasına sebep olur. Bu işlem yüksek vakum değerlerinde (10^{-6} Torr) cam, Si ve PET alttaş üzerine kaplamaların oluşturulmasını sağlar. Film oluşum esnasında filaman akımı 18 A'de sabit tutulmuştur. Uygulama Voltajı 500 V'tur. Deşarj akımı ise 500 mA olarak ölçülmüştür.

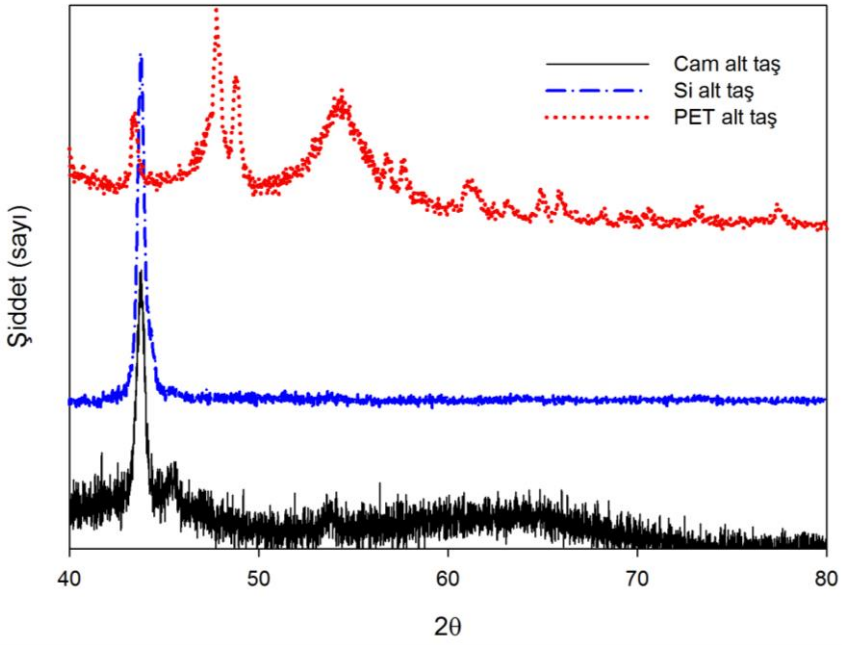
3. DENEYSEL SONUÇLAR

TVA tekniği kullanılarak cam, Si ve PET taban malzeme üzerine kaplaması yapılarak üretilen InGaAsN ince filmlerin kalınlıkları ince film kalınlık ölçer cihazı ise 40 nm olarak ölçülmüştür. Kaplaması yapılan InGaAsN ince filmlerin XRD analizleri Rigaku marka SmartLab model XRD cihazı kullanılmıştır. Şekil.2'de elde edilen XRD sonuçları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. XRD analizlerine göre üç farklı alt taş üzerinde de kristal

yapıların varlığı görülmektedir. Her üç numunede de yapıdaki kristalleşme görülmektedir. Beklendiği gibi en iyi kristallenme Si alttaş üzerinde olduğu XRD piklerinden görünmektedir. Ayrıca cam alttaş üzerinde de kristallenmenin gayet olduğu görülmektedir. Aynı zamanda PET numunesine ait XRD pikleri de grafiklerde gözlenebilmiştir (Pat ve diğ. 2015b; Şenay ve diğ. 2015b; Ong ve diğ.2012; Fernandez ve diğ. 2009).



Şekil 1:
InGaAsN ince filmlerin üretildiği TVA sisteminin şematik gösterimi



Şekil 2:
InGaAsN ince filmlerin XRD grafikleri

Taramalı elektron mikroskobu kullanarak film yüzeylerinin elemental analizlerin yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları Tablo.1'de özetlenmiştir. $In_xGa_{1-x}As_{1-y}N_y$ bileşiği genel formülündeki x ve y değerleri EDX analizi sonucu elde edilen değerler ile hesaplanmıştır. Numuneler aynı anda üretilmesine rağmen farklı oranlarda x ve y değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen y değerleri %3-6 aralığında değişmektedir. Farklı alt taşlara göre x ve y değerleri farklı çıkmaktadır. Bu sonuçta alt taş yapısının InGaAsN alaşımının oluşumunda etkili olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. TVA ile üretilen InGaAsN ince filmlerin elemental analiz sonuçları

	Element	Atomik yüzde (%)	$In_xGa_{1-x}As_{1-y}N_y$
Cam	Ga	39.371	1-x=69
	In	17.709	x=31
	As	40.685	1-y=95
	N	2.235	y=5
Si	Ga	81.780	1-x=87
	In	12.496	x=13
	As	5.380	1-y=94
	N	0.343	y=6
PET	Ga	84.192	1-x=88
	In	11.016	x=12
	As	4.650	1-y=97
	N	0.141	y=3

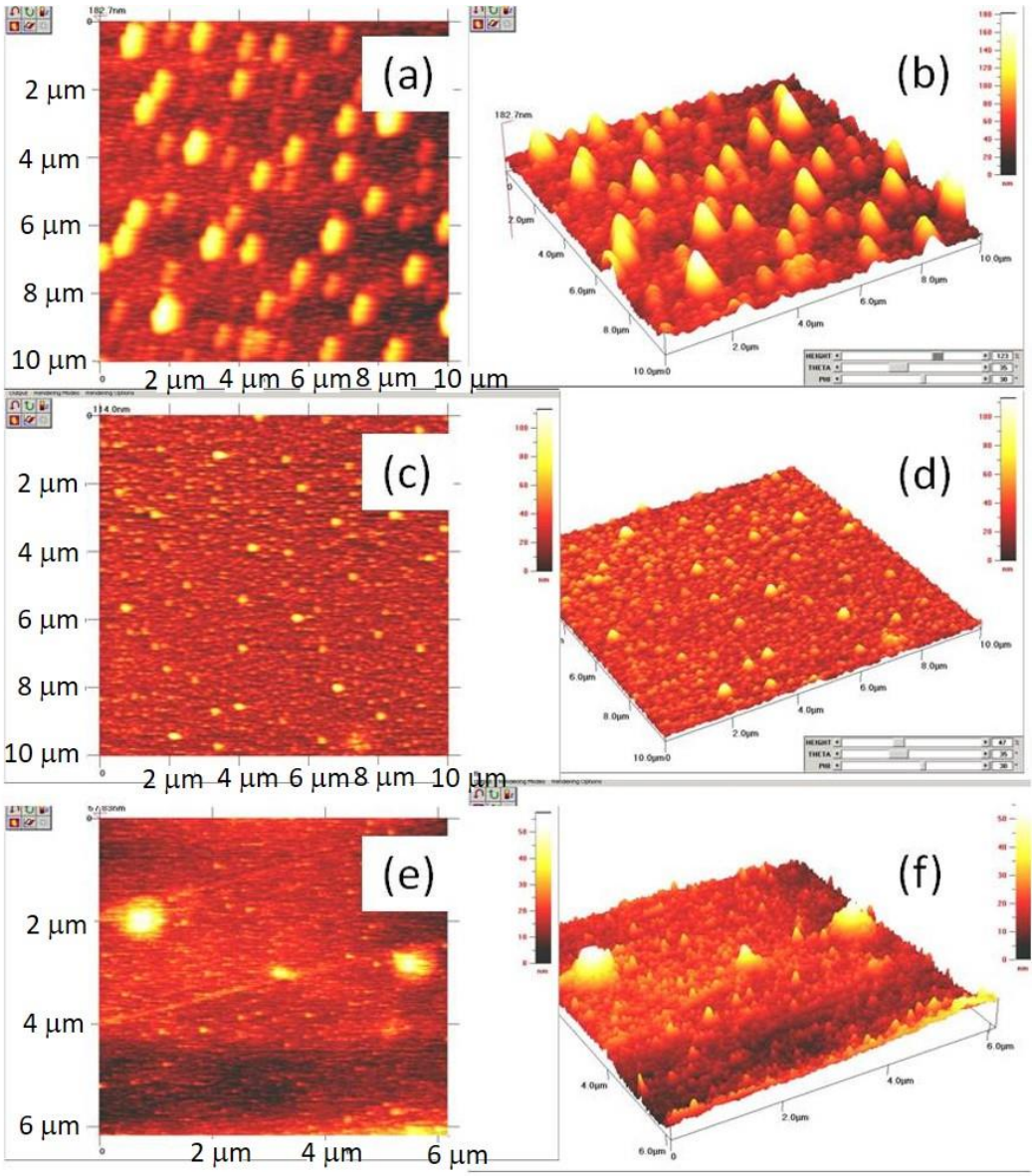
Cam, Si ve PET üzerine TVA yöntemi ile üretilen InGaAsN ince filmlerin iki boyutlu ve üç boyutlu yüzey görüntüleri Atomik kuvvet mikroskobu görüntüleri Ambios Q-Scope marka cihaz ile elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler Şekil.3'de karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Sekil.3 den de görüleceği gibi iki boyutlu yapıların belirli tane büyüklüklerine sahip oldukları gözlenmektedir. Elde edilen görüntülere göre tane boyutları büyüklükleri alt taşa göre değişmektedir. En büyük tane boyutu cam alt taş üzerine büyütülmüş ince filmlerde, daha sonra Si üzerinde üretilmiş ince filmlerde ve en küçük tane boyutu ise PET üzerine oluşturulmuş ince filmlerde oluştuğu görülmektedir. Bu sonucu XRD grafikleri de desteklemektedir.

Geçirgenlik ve soğurma spektrumu ölçümleri Unico UV-Vis spektrofotometre cihazı kullanılarak elde edilmiştir. Ölçüm sonuçları Şekil.4'de gösterilmiştir. Filmler görünür bölge ve daha kısa dalga boylarında geçirgen değildir. Filmler kırmızı bölgede bir miktar geçirgendir. Üretilen filmlerin yasak enerji aralıkları ise optik model ile belirlenmiştir. Optik modelde $(\alpha h\nu)^2$- eV grafiği çizilerek belirlenebilir. Bu grafiklerin enerji eksenini kestiği değerler filmlerin yasak enerji değerlerini vermektedir. Cam ve PET geçirgen alt taşlar üzerine kaplanmış filmlerin yasak enerji aralıkları 1,2 -1,3 eV aralığında bulunmuştur. Bu sonuca göre seyreltik azot katkılı yapılar üretildiğinde filmlerin yasak enerji aralığında büyük azalmalar meydana gelmiştir. Bu sonuçlarda mevcut çalışmalar ile uyumlu olduğu görülmüştür (Dumitras, 2003; Adamcyk ve diğ 2002; Kondow ve diğ. 1996; Yamaguchi ve diğ. 2008).

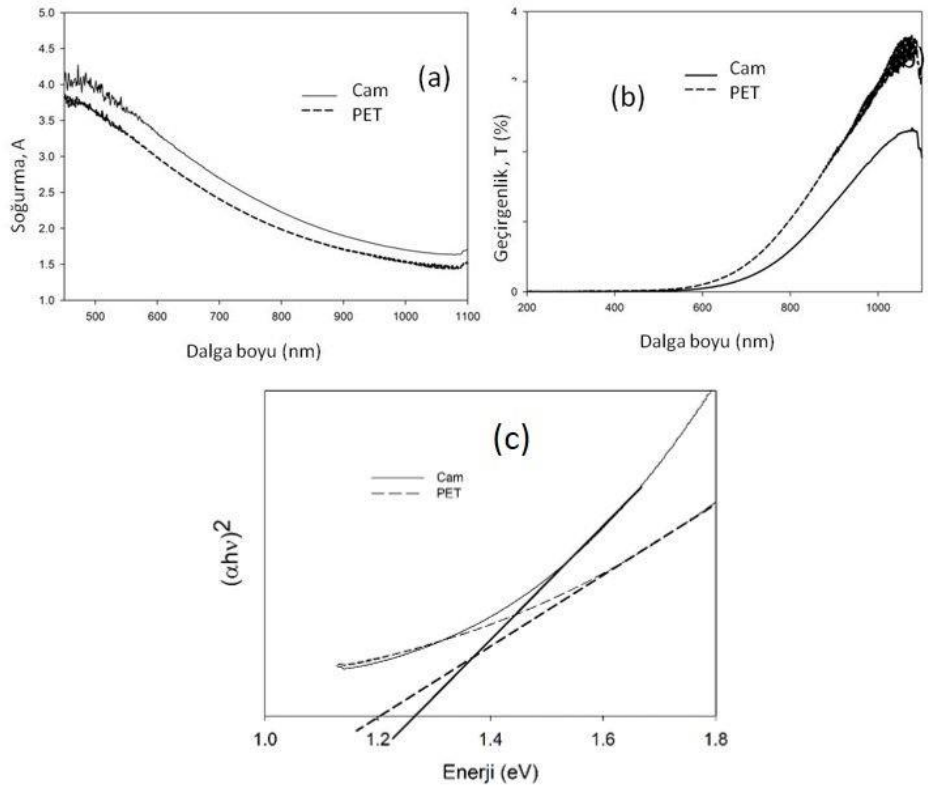
4. SONUÇ

Bu çalışmada termiyonik vakum ark (TVA) tekniği kullanılarak ilk defa InGaAsN ince filmlerin üretimleri gerçekleştirilmiştir. Cam, Si ve PET alt taş üzerine üretilen ince filmlerin kalınlıkları 40 nm olarak ölçülmüştür. Bu filmlerin XRD analizleri, kimyasal bileşen analizleri, atomik kuvvet mikroskobu (AFM), geçirgenlik ve soğurma analizleri yapılmıştır. Yasak enerji aralıkları ile optik metot ile elde edilmiştir. XRD analizlerinde yapıların kristal yönelimler görülmektedir. Elemental analiz sonuçlarına göre ise yapılardaki seyreltik azot miktarları

belirlenebilmiştir. Optik ölçümlere göre ise, seyreltik azot yapıların optik bölgeyi azalttığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre TVA yöntemiyle farklı konsantrasyonlu seyreltik azot yapıların üretilebildiği ve bunun sonucu olarak farklı alttaşlar üzerine üretilen InGaAsN ince filmlerin bazı fiziksel özelliklerinin de değiştiği belirlenmiştir.



Şekil 3:
InGaAsN ince filmlerin AFM yüzey analizi görüntüleri
a *ve* ***b****. Cam,* ***c*** *ve* ***d*** *Si ,* ***e*** *ve* ***f*** *PET alt taş üzerine sırasıyla iki boyutlu ve üç boyutlu görüntüleri*



Şekil 4:
InGaAsN ince filmlerin ***a****. soğurma,* ***b****. geçirgenlik ve* ***c.*** *yasak enerji aralığı grafikleri*

KAYNAKLAR

1. Adamcyk, M., Schmid, J. H., Tiedje, T., Koveshnikov, A., Chahboun, A., Fink, V., & Kavanagh, K. L. (2002), *Comparison of strain relaxation in InGaAsN and InGaAs thin films,* Applied physics letters, 80(23), 4357-4359. doi: 10.1063/1.1485124

2. Dumitras, G. (2003). *Optical and Electrical Characterization of InGaAsN used for 1.3 μm lasers* (Doctoral dissertation, Universität München).

3. Fernández, S., Martínez-Steele, A., Gandía, J. J., & Naranjo, F. B. (2009), *Radio frequency sputter deposition of high-quality conductive and transparent ZnO: Al films on polymer substrates for thin film solar cells applications,* Thin Solid Films, 517(10), 3152-3156. doi:10.1016/j.tsf.2008.11.097

4. Kondow, M., Nakatsuka, S. I., Kitatani, T., Yazawa, Y., & Okai, M. (1996), *Room-temperature pulsed operation of GaInNAs laser diodes with excellent high-temperature performance,* Japanese journal of applied physics, 35(11R), 5711. doi:10.1143/JJAP.35.5711

5. Ong, W. L., Low, Q. X., Huang, W., Van Kan, J. A., & Ho, G. W. (2012), *Patterned growth of vertically-aligned ZnO nanorods on a flexible platform for feasible transparent and conformable electronics applications,* Journal of Materials Chemistry, 22(17), 8518-8524. doi: 10.1039/C2JM00027J

6. Özen, S., Şenay, V., Pat, S., & Korkmaz, Ş. (2015), *AlGaAs film growth using thermionic vacuum arc (TVA) and determination of its physical properties*, The European Physical Journal Plus, 130(6), 1-6. doi: 10.1140/epjp/i2015-15108-3

7. Pat, S., Korkmaz, Ş., Özen, S., & Şenay, V. (2015a), *GaN thin film deposition on glass and PET substrates by thermionic vacuum arc (TVA)*, Materials Chemistry and Physics, 159, 1-5. doi:10.1016/j.matchemphys.2015.03.043

8. Pat, S., Özen, S., Şenay, V., Korkmaz, Ş., & Şimşek, V. (2015b), *Optical and surface properties of the in doped GaAs layer deposition using thermionic vacuum arc method*, Scanning. Accepted paper. doi: 10.1002/sca.21269

9. Senay, V., Ozen, S., Pat, S., & Korkmaz, S. (2015a), *Direct and fast growth of a SI: GAAS thin film by mns of thermionic vacuum arc (TVA)*, In Plasma Sciences (ICOPS), 2015 IEEE International Conference on (pp. 1-1). IEEE. doi: 10.1109/PLASMA.2015.7179798

10. Şenay, V., Özen, S., Pat, S., & Korkmaz, Ş. (2015b), *Some physical properties of a Si-doped nano-crystalline GaAs thin film grown by thermionic vacuum arc*, Vacuum, 119, 228-232. doi:10.1016/j.vacuum.2015.05.030

11. Yamaguchi, M., Nishimura, K. I., Sasaki, T., Suzuki, H., Arafune, K., Kojima, N., Araki, K. (2008), *Novel materials for high-efficiency III–V multi-junction solar cells*, Solar Energy, 82(2), 173-180. doi:10.1016/j.solener.2007.06.011