

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YARI İLETKEN ALTLIK ÜZERİNE InGaP NANOFİBERLERİN
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

Hakan OKÇU

**Danışman
Doç. Dr. Nalan ÇİÇEK BEZİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**



© 2019 [Hakan OKÇU]

TEZ ONAYI

Hakan OKÇU tarafından hazırlanan " Yarı İletken Altlık Üzerine InGaP Nanofiberlerin Üretimi Ve Karakterizasyonu" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Nalan ÇİÇEK BEZİR
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. İskender AKKURT
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Atilla EVCİN
Afyon Kocatepe Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doc. Dr. Şule Sultan UĞUR



TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Hakan OKÇU



İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|-----|
| TEZ ONAYI | i |
| TAAHHÜTNAME..... | ii |
| İÇİNDEKİLER..... | i |
| ÖZET..... | iii |
| ABSTRACT | iv |
| TEŞEKKÜR..... | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vi |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... | vii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ..... | 6 |
| 3. TEORİ..... | 10 |
| 3.1. Yarı İletkenler..... | 10 |
| 3.2. Katkısız Yarı İletkenler..... | 13 |
| 3.3. Katkılı Yarı İletkenler..... | 14 |
| 3.3.1. N tipi katkıli yarıiletkenler | 14 |
| 3.3.2. P-tipi katkıli yarı iletkenler | 16 |
| 4. NANOTEKNOLOJİ..... | 18 |
| 4.1. Nanoteknoloji ve Kullanım Alanları | 20 |
| 4.1.1. Nanoteknoloji ve tıp | 21 |
| 4.1.2. Nano aygıtlar | 21 |
| 4.1.3. Nanoteknoloji ve savunma | 22 |
| 4.2. Nanolifler..... | 22 |
| 4.2.1. Nanoliflerin üretimi..... | 23 |
| 4.2.1.1. Çizme yöntemi | 24 |
| 4.2.1.2. Faz ayırma yöntemi..... | 24 |
| 4.2.1.3. Kendiliğinden tutunma yöntemi..... | 25 |
| 4.2.1.4. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD)..... | 25 |
| 4.2.1.5. Elektroçirime (elektrospinning) yöntemi..... | 26 |
| 4.3. InGaP/GaAs yarı iletkeninin yapısal özellikleri..... | 33 |
| 4.3.1. InGaP/GaAs yarı iletkeninin Kristal yapısı..... | 35 |
| 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA..... | 36 |

| | |
|---------------------------------|----|
| 5.1. Giriş..... | 36 |
| 5.2. Deneysel..... | 36 |
| 5.3. Sonuçlar ve Tartışma | 38 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 44 |
| KAYNAKLAR | 45 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 47 |



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YARI İLETKEN ALTLIK ÜZERİNE InGaP NANOFİBERLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Hakan OKÇU

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Nalan ÇİÇEK BEZİR

InGaP nano lifleri ilk olarak n-Si substratları üzerinde, sabit voltaj (25 kV), yükseklik (6 cm) ve akış hızı (0.3 mL / s) ve farklı işlem sürelerinde (10, 20, 25 dakika) uygulanan elektrospinning yöntemiyle oluşturulmuştur. Hazırlanan numunelerin karakterizasyonu, X-ışını difraksiyonu (XRD), diferansiyel taramalı kalorimetre / termal gravimetrik analiz (DSC / TGA), Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağıtıcı X-ışını spektrometresi (EDX) ile yapıldı. Ayrıca, InGaP / n-Si örneklerinin akım-gerilim ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, üç kalınlıkta InGaP katmanı ile üretilen tüm InGaP / n-Si örneklerinin I-V özelliklerinin, teori ile iyi bir uyum içinde olduklarını ve aynı zamanda rektifiye edici özellikler sergilediklerini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler- Nano lifler, InGaP, Elektrospinning.

Pacs: 81.07.-b, 73.61.Le, 81.07.Gf

2019, 48 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EFFECT OF LAYER THICKNESS ON *I-V* CHARACTERISTICS OF InGaP NANOFIBERS FABRICATED BY ELECTROSPINNING ON N-SI SUBSTRATES

Hakan OKÇU

Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Assoc. Doç. Dr. Nalan ÇİÇEK BEZİR

InGaP nanofibers were firstly formed on n-Si substrates by electrospinning method applying constant voltage (25 kV), height (6 cm), and flow rate (0.3 mL/h) and at different process times (10, 20, 25 minutes). Characterization of the prepared samples was performed by X-ray diffraction (XRD), the differential scanning calorimetry/the thermal gravimetric analysis (DSC/TGA), Scanning electron microscopy (SEM), and energy dispersive X-ray spectrometer (EDX). Furthermore, the current-voltage measurements of the InGaP/n-Si samples have been carried out. The obtained results have shown that *I-V* characteristics of all the InGaP/n-Si samples fabricated with three thicknesses of InGaP layers are rather in a good agreement with the theory and that they also have exhibited rectifying properties.

Key words- Nanofibers, InGaP, Electrospinning.

PACS: 81.07.-b, 73.61.Le, 81.07.Gf

2019, 48 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Doç. Dr. Nalan ÇİÇEK BEZİR'e teőekkürlerimi sunarım.

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu [TÜBİTAK PROJECT-110M344] ve Süleyman Demirel Üniversitesi Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (No: 3811-YL1-13) müteőekkirimiz.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan ailem, Okçu ailesine sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Hakan OKÇU
ISPARTA, 2019



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 3.1. Saf silisyum yarı iletkeninde elektrik iletimi. | 14 |
| Şekil 3.2. Silisyum atomunun fosfor atomu ile katkılanması N tipi | 15 |
| Şekil 3.3. N-tipi katkılı yarı iletkenin enerji kuşağı çizelgesi | 16 |
| Şekil 3.4. P tipi katkılama, silisyum kafesinin bor atomu ile katkılanması | 17 |
| Şekil 3.5. Nanoliflerin kullanım alanları şeması..... | 19 |
| Şekil 4.1. Çizme yöntemi ile nanofiber üretimi | 24 |
| Şekil 4.2. Kendiliğinden tutunma yöntemi ile nanofiber üretimi | 25 |
| Şekil 4.3. Buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi..... | 26 |
| Şekil 4.4. Elektroçirme tekniğı şeması..... | 27 |
| Şekil 4.5. Elektrospinning düzeneğinde liflerin oluşumu | 28 |
| Şekil 4.6. Elektroçirme tekniğinde kritik voltajın üretime etkisi şeması..... | 29 |
| Şekil 5.1. Elektrospinning kurulumu..... | 37 |
| Şekil 5.2. InGaP nano liflerinin DTA / TGA analizi. | 39 |
| Şekil 5.3. SEM görüntüleri..... | 40 |
| Şekil 5.4. n-Si gofreti üzerindeki InGaP nano liflerinin EDX haritalama analizi.. | 41 |
| Şekil 5.5. 500 ° C' de ısıtılan n-Si substratı üzerindeki InGaP nano liflerinin XRD.... | 42 |
| Şekil 5.6. InGaP / n-Si heteroyapılarının oda sıcaklığında I-V özellikleri. | 43 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|--|---|
| InGaP | İndium Galyum Fosfat |
| TiO ₂ | Titanyum Dioksit |
| OH | Hidroksil radikali |
| O ₂ | Oksijen |
| eV | Elektron Volt |
| λ | Dalgaboyu |
| UV | Ultraviolet |
| XRD | X-Ray Diffraction |
| SEM | Scanning Electron Microscopy |
| CVD | Kimyasal Buhar Metodu |
| K0 | Kelvin |
| RS | Geri Akışlı Soller |
| Nm | Nanometre |
| Si O ₂ | Silisyum Dioksit |
| Nb ₂ O ₅ | Niobyum Oksit |
| XPS | X-Ray Foto Elektron Spektroskopisi |
| [TIP,Ti(O-i-C ₃ H ₇) ₄] | Tetraizopropil Ortoitanat |
| Ti (OC ₂ H ₅) ₄ | Tetraetil Orthotitanate |
| Fe(NO ₃) ₃ | Demir Nitrat |
| SE | Spektroelipsometri |
| M | Molar |
| C ₆ H ₃₆ O ₄ Ti | Titanyum(IV)n-butoksit |
| CH ₃ COOH | Asetik Asit |
| CH ₃ OH | Etanol APTES (3-aminopropil)-trietoksisilan |
| OTS | Oktadesiltriklorosilan |
| InP | İndiyum Fosfat |
| Eg | Bant Aralığı Enerjisi |
| Σ | Öziletkenlik |
| ρ | Özdirenc |
| GaAs | Galyum Arsenik |
| BMGP | Boyar Maddeli Güneş Pili |
| A | Malzemenin Kesit Alanı |
| TEOS | Tetraethoxysilane |
| OCH ₃ | Metoksil |
| OC ₂ H ₅ | Etoksil |
| C ₃ H ₇ OH | Propanol |
| C ₄ H ₉ OH | Butanol |
| U | Taşıyıcı Hızı |
| NaOH | Sodyum Hidroksil |
| C ₄ H ₁₁ NO ₂ | Dietanolamin |
| L | İletkenin Uzunluğu |

1. GİRİŞ

Günümüzde fizik alanında yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu ve özellikle teknolojik alanda yapılan çalışmaların içinde yarıiletkenler çok önemli bir yere sahiptir. Yarıiletkenler iki kutuplu eklem yapıları olarak ortaya çıkmaya başlamış olup en yaygın modelleri silisyum germanyum üzerine yapılmış entegre devreleri kullanılmıştır. Fakat hızla ilerlemekte olan teknolojiye silisyum, germanyum yetersiz kalmış ve bileşik yarıiletken materyaller üzerinde çalışmalar başlamıştır. Birleşik yarı iletkenler ve ince film çalışmaları fiziğin her bir alt dalının odak noktasında bulunmaktadır. Bu çalışmalar neticesinde şuan elektronik teknolojisinde kullandığımız diyotlar, ledler, dedektörler, anahtarlar, transistörler gibi birçok aygıt da elektronik teknolojisine kazandırılmıştır. Bu aygıtlar çalışma odağına göre ya tek başına bir devre elemanı ya da entegre devrelerin bir parçası olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sebeble İnce film kaplamalarında ve bileşik yarı iletken çalışmalarında tercih edilen en yaygın yarı iletkenler III-V grubuna giren yarıiletkenlerdir. III-V grubunda bulunan yarı iletkenler periyodik tablodan üçüncü grupta bulunan bir metal element ile beşinci grupta bulunan ama metal olmayan bir elementin birleşmesi ile meydana gelmektedir. InP, GaP, GaAs, InAs, InSb InGaAs, InGaP gibi ikili veya üçlü kristal yapılı bu bileşikler sayesinde yarı iletkenler oluşmaktadır. Günümüzde, III-V bileşiklerinin çok bileşenli yapılarına dayanan, yüksek verimli güneş pilleri üzerinde yenilenmiş bir ilgi vardır. Üçlü alaşım InGaP çok-işlemli hücreler için önemli bir malzemedir. GaAs ile eşleşen InGaP kafes, 1.9 eV'lik doğrudan bant aralığı gibi çok ilginç özellikler sunuyor. Ayrıca Katıların enerji bandları çeşitli nümerik metotlarla hesaplanır. Yarıiletkenler için en çok kullanılan metotlar; Ortogonalize düzlem dalga metodu (OPW) Allen,sahte potansiyel metot Phillips ve k.p metodu Chelikowsky ve Cohen'dur. Öte yandan, AlGaAs'larda serbest taşıyıcı yoğunluğunun büyük ölçüde azaltılmasından, daha geniş bant boşluğundan ve GaAs'larla daha uygun bir bant aralığı hizalamasından sorumlu olan AlGaAs'lara göre bazı avantajlar sunmaktadır. Güneş pillerinin, geniş iç elektrik alanlarının, diyagonal olmayan suş tarafından üretildiği, eşleşmeyen koşullar altında (111) GaAs yüzlerindeki büyümeden faydalanmasının yararlı olabileceği önerilmiştir. Aslında, QW'lerin (111)

yüzündeki elektronik bant yapısı önemli ölçüde değiştirilmiştir. Piezoelektrik alanlar, azınlık taşıyıcıların daha iyi ekstraksiyonuna ve daha büyük bir emme katsayısına izin verebilir. Ayrıca, bant aralığı büzülmesinden ve InGaP ve GaAs arasındaki bant hizalanmasından sorumlu olan uzun menzil sırasının bastırılmasını da bekleyebiliriz; Siparişin varlığının, cihaz performansı için olumsuz sonuçları vardır.[O. Martínez,2009].

Son zamanlarda, taşıyıcıların güçlü bir şekilde sınırlandırılabilirdiği, kendiliğinden toplanan kuantum noktalarına (SAQD'lar) artan bir ilgi olmuştur. Stranski-Krastanow epitaksiyal büyüme modu ile çeşitli malzeme kombinasyonları ve nokta şekilleri gerçekleştirilmiştir. Kuantum noktalarının yoğunluğu, boyutu, bileşimi ve şekli, büyüme koşulları (örneğin büyüme sıcaklığı, birikme süresi, akı vb.) ile belirlenir. Teorik bir bakış açısından, gerilim dağılımının hesaplanması, SAQD'nin elektronik yapısının kuantum mekanik modellemesinden önce gelir. Bunlardan biri, $k \cdot p$ teorisi gibi sürekli bir elektronik yapı modeline uyan ve aynı zamanda kristal anizotropiyi de hesaba katabilen sürekli mekanik (CM) modeldir. elektronların, deliklerin ve ekosentlerin mekansal lokalizasyonunun, bu noktalardan oluşan tek disk şekilli InP / InGaP kuantum noktasında ve dikey yığınlarda tutarlı bir açıklamasını sağlayan çalışmalar hala devam etmektedir [Milan Tadić, 2004].

Elektronik uygulamalar için InP kullanımı uzunca bir süredir araştırma konusu olduğu için elektriksel ve optiksel fonksiyonların gerçekleştirilebileceği InP tabanlı teknolojinin gelişmesi, optik iletişimlerin ve elektronik teknolojisinin de geleceğini büyük oranda değiştirecektir. Son yıllarda görülen yarı iletken teknolojisinde özellikle optik iletişim alanında çok önemli yere sahip olan InP yapısının elektrik, optik ve yapısal özelliklerinin incelenmesi her açıdan önemli ve teknolojiye büyük fayda sağlayacaktır. InP yarıiletkeni ise son yıllarda güneş hücreleri üzerindeki uygulamaları nedeniyle çok kullanılan bir materyal haline gelmiştir. Si ve GaAs yarıiletkenleri ile karşılaştırıldığında, oda sıcaklığında 1.34 eV' luk bant aralığı enerjisine sahip olduğundan dolayı görünür ışık spektrumunun optimum biçimde kullanımında daha uygun olması, direkt bant aralığı ile daha ince olabilmesi, yüksek sayıda foton içermesi ve güneş ışığı

altında kullanılabilmesi, radyasyondan korunma gibi eylemlere daha duyarlı olması gibi avantajlara sahiptir. Son on yılda, iki III-V bileşiğinin karışık kristalleri üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalara bir ilgi, ışık yayan diyot ve lazer uygulamaları için doğrudan enerji boşluğu olan bir yarı iletkenin sentezi olmuştur, çünkü 1.5 eV'den daha büyük bir enerji boşluğu olan tüm III-V bileşikleri, Brillouin bölgesinin X noktasının yakınında bulunan iletim bandı minimumu dolaylı bir kenara sahiptir. Bilindiği gibi en küçük doğrudan aralıklı bir malzeme ile alaşımı yapılan büyük, dolaylı, aralıklı bileşiğin, doğrudan bir orta büyüklük aralığına sahip bir karışık kristal vereceği bilinmektedir. Maksimum göz duyarlılığı bölgesinde yayılan radyasyona sahip büyük doğrudan boşluklu cihazlar elde etmek için, GaAs, AlP ve GaInP gibi sistemler önerildi [P. Merle, 1976].

Günümüzde en yüksek performanslı güneş pilleri Ge, GaAs ve InGaP taban bağlantılı olanları sayabiliriz. GaAs ve InGaP ince filmler Ge altlıklar kullanılarak kaplanır ve uzay uygulamalarında yüksek verimliliğinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır [Lankinen, 2009].

Doğrusal olmayan fotonik kristal (PhC) rezonatörleri, gelecekteki tüm optik sistemlerde yüksek hızlı, düşük enerji tüketen anahtarlama ve sinyal işleme işlevleri için anahtar olabilecek bileşenlerdir. Son yıllarda pasif ve aktif (genellikle gömülü kuantum noktaları) yapılarının farklı konfigürasyonları bildirilmiştir. Çoğu PhC rezonatörleri nano ölçekli cihazlardır ve ultra yüksek Q değerleri gösterirler. Bu, kuantum optik süreçlerinin pratik bir bakış açısıyla çalışmayı gerektiriyor olmasına rağmen, birçok imalat zorluklarını da beraberinde getiriyor. Böyle bir nano kavite, taşıyıcı etkilere dayanan, düşük bir alt anahtarlama enerjisi sergilediği görülmektedir ancak tek bir mod boşluğu olmakla birlikte, sadece dalga boyunu değiştirmeyi mümkün kılmaktadır [V. Eckhouse, 2012].

Çok yönlü uygulamalar olarak sayılabilecek trafik sinyalleri, tam renkli ekranlar ve aydınlatma teknolojilerinde yüksek parlaklık veren AlInGaP ışık yayan diyotlar (LED'ler) oldukça ilgi çekmektedir [Yan, 2011].

Şeffaf iletkenlere olan ilgi, şeffaf ve iletken kadmiyum oksit (CdO) filmlerinin ilk yayınlandığı 1907 yılına kadar izlenmiştir. Sadece artan sayıları değil, aynı zamanda birikimleri için geliştirilmiş çok çeşitli tekniklerle kanıtlanmış benzersiz özellikleri ile O zamandan beri materyallerde artan bir teknolojik ilgi vardır. Çok ince metalik filmlerde, iletkenlikte azalma gözlenmekle beraber aynı zamanda kısmi şeffaflık elde edilebilmesine rağmen, içsel stokiyometrik materyallerde(kütle ve hacimsel ifade içeren) yüksek şeffaflık ve aynı anda yüksek iletkenlik elde edilemez [Bashar,1998].

Her zamankinden daha yüksek fotovoltaiik hücre verimliliğine duyulan ihtiyaç, kafes-eşleşmeli güneş hücrelerinde yeni çok-işlemli cihaz yapılarının dahil edilmesini ve aynı zamanda sadece kafes uyumsuz güneş hücrelerinde mümkün olan subcell bant aralığı kombinasyonlarının araştırılmasını gerektirmektedir.[R. R. King,2003].

Elektro eğirme, polimer, kompozit, ve seramik yapılar gibi materyallerden ultra ince lifler oluşturmak için kullanılan kolay elde edilebilen ve etkili bir üretim tekniğidir.[Andradı, A. L. (2008)].

Nanolif elde etmek için kullanılan yöntemlerden bir tanesi de elektron eğirme yöntemidir. Bu yöntemde çözelti şırınganın içine yerleştirilir. Daha sonra hazırlanmış olan bu çözelti ile şırınga iğnesinin karşısında bulunan bir toplayıcı levha arasına yüksek gerilim uygulanır. Besleyici üniteadaki iğnenin ucunda asılı durumda duran damla kritik bir voltaj değerine kadar, yüzey geriliminin uyguladığı kohezyon kuvvetlerinden dolayı, küresel bir biçimde bulunur. Uygulanmış olan bu yüksek potansiyel fark bir eşik değerine ulaştığı anda, sistemdeki elektriksel kuvvetler yüzey gerilimi ve kohezyon kuvvetlerine eşitlenir. Tam bu anda damla şekil değiştirerek koni (taylor konisi) biçimini alır. Metal toplayıcı ile şırınga arasına uygulanan yüksek voltaj istenilen kritik değere ulaştığı zaman, şırınganın ucunda asılı bir damlacık olarak duran çözelti, elektriksel olarak yüklenmiş olarak toplayıcı levhaya doğru hareket etmeye başlar. Şırınganın ucundan çıkan damla elektrostatik itme kuvvetlerinden

dolayı kıvrılma hareketi yapar. Bu damla, kıvrılma hareketinin ve içindeki çözücünün buharlaşmasıyla iyice incelik ve toplayıcıda nano boyutta rastgele olarak lifler halinde birikir [Daştan, H. (2009)].



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Foto dedektörler veya fotodiyotlar ışık enerjisi ile iletme geçen yarı iletken elemanlardır. Yani bir başka deyişle ışık enerjisini elektrik akımına dönüştüren diyotlara fotodiyot denir. Fotodiyotlar ışıkla çalıştıkları için alarm sistemlerinde, uzaktan kumanda aletlerinde, fiber optik iletişim sistemlerinde kullanılmaktadır. Chang-Da Tsai ve arkadaşları saydam ve yansıtmayan Schotky elektrot için ITO kullanarak InGaP/GaAs/InGaP MSM(Metal-Yarıiletken-Metal) foto dedektörlerin bir çalışmasını yapmışlardır. (Chang-Da Tsai ,1999)

Epitaxial III-V çok iletkenli güneş pilleri teknolojisindeki son gelişmeler,güneş hücrelerinin karasal güneş spektrumu altında verimlilik açısından yeni yüksekliklere ulaşmasına izin verdi.

King ve arkadaşları örgü yapısı ile eşleşen ve metamorfik InGaP / GaInAs / Ge konsantratör güneş hücreleri isimli çalışmasında değişen indiyum miktarı ile birlikte örgü yapısı ile örtüşüp örtüşmediğini inceleyip kafes uyumsuzluğunu ortaya koymuşlardır. (king ve arkadaşları)

Üçlü ve dördü bileşik yarı iletkenleri gibi InGaP tipi katkılı yarıiletkenler değişen malzeme özelliklerinde farklı sonuçlar ortaya koyabilmektedir. mesela güçlü bir değişikliğe neden ola Ga (111) doğal süper çökertme sıralamasını gösterir.

Scholz ve arkadaşları InGaP'de sipariş cihazlarla alakalı mı? isimli çalışmasında e-postaların optoelektronik cihazları optimize etmek için veya hatta yeni cihaz konseptleri geliştirmek için nasıl kullanıldığı ile ilgili örnekler sunmuştur. Mesela Sipariş düzlemlerine paralel optik dalga kılavuzları için büyük ölçüde anizotropik ışık yayılım özellikleri nedeniyle, yeni dalga kılavuzu öz modelleri tasarlanabilir. Başta harici bir gerilimle ayarlanabilen bir polarizasyon konvertörü gerçekleştirebiliyor. Bununla birlikte, sipariş edilen materyalin etki alanı yapısı, sipariş edilen lazer yapılarında açıkça gösterildiği gibi bu avantajları dengeleyebileceği hakkında bize bilgi vermektedir.

Tadic ve arkadaşları ise kendiliğinden birleştirilmiş InP / InGaP kuantum noktaları ve kuantum nokta moleküllerinin elektronik yapısı ve optik özellikleri üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmasında ise düz silindirik şeklindeki InP / InGaP kendiliğinden birleştirilmiş kuantum noktalarındaki delik ve exciton durumları, sırasıyla çok kutuplu kp teorisi ve tam köşegenleştirme yaklaşımını kullanarak modellendirdiler. Hafif delikler esas olarak kuantum nokta molekülündeki delik durumlarının birleşmesinden sorumludur. Dahası, kuantum nokta molekülündeki eksitasyon enerjileri, tek kuantum noktadaki enerjilere göre mavi kaymalar gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Yan ve arkadaşları ITO çok yönlü reflektörlü AlInGaP ince film LED başlıklı çalışmasında aynı AlInGaP / GaAs epitaksial tabakasında farklı ITO ODR'li dört çeşit LED üretimi gerçekleştirip, bu LED'lerin optik ve elektriksel özelliklerini incelemişlerdir. ITO filmi incelten GaP / ITO / AuZnAu reflektörlü LED'ler için L-I ve I-V performanslarına bakarak şu sonuca ulaşmışlardır. Aynı kalınlıktaki ITO filmi olan LED'ler için, Au reflektöre kıyasla, AuZnAu reflektörlü cihazlar daha düşük ön voltaj ve daha yüksek ışık yoğunluğuna sahiptir. Zn içeriğinin ITO filmi ve epitaksiyal tabakaya difüzyonu olarak, ışık çıkışı arttı ve LED voltajı düştü. Bu nedenle, ITO katmanının uygun kalınlığı ve metal yansıtma cihazına Zn içeriğinin dopingi, AlInGaP tabanlı LED'lerin optik ve elektriksel özelliklerini önemli ölçüde artırabilir.

Rödel ve arkadaşları ; moleküler çekirdek epitaksisindeki gaz kaynağının GaAs'ın alt tabakadaki InP/InGaP kuantum noktası olarak yoğunluk ve boyut kontrolü adlı çalışmasında InP kuantum noktalarının döngü ifadesindeki büyüyen kesintilerdeki yoğunluğunu kontrollü şekilde azaltacak metod bulmaya çalışmışlardır. Çalışmanın sonucunda ise eş zamanlı olarak kuantum noktalarının boyutunda sistematik bir büyüme gözlemişlerdir.

Dumant ve arkadaşları ise Fotoluminesans ve IR durumlarında InGaAs/InP atomik yapısındaki optik durumu adlı çalışmasında kafeslenmiş InGaAs/InP

metal organik buhar epitaksi safhasında büyüyen, PL spektroskopisinde araştırılan ve FT-IR'de atomik yapısı analiz edildiği araştırılmıştır. Tüm As ve Arsin'in düşük sıcaklıkta büyüyen optik örnekleri 570-600 C aralığında karşılaştırıldı. Arsin' de 600 C 'de bir değişiklik gözlenmemişken TmAs' da bir büyüme gözlemlenmiştir.

Eckhouse ve arkadaşları, InGaP'ın fotonik kristal Fabry perot ses yansıtıcısında tamamen optiksel değiştirilmesi isimli çalışmasında InGaP fotonik kristal ses yansıtıcısının doğrusal olmayan özelliklerinin entegre yansıtıcıları bulundurduğunu tanımlamaya çalışmıştır. Alet termal etkiye lineer olmayan karşı fazlasıyla geniş bir statik sergiliyor. Termal ve Kerr'in lineer olmayana katkılarını ayırmak için dinamik ölçüler kullanıldı. Yaptıkları deneyde lineer olmayan Kerr'in etkisine dayalı olarak yüksek frekanslı tepkiler ortaya çıktığı sonucuna ulaşmışlardır.

Thomas ve arkadaşları ise InP/InGaP kuantum noktaları (kuantum bilgi sürecinde tek foton kaynağı için) adlı çalışmasında kararlı tek foton kaynağı olarak InP/InGaP kullanarak değişik kuantum durumlarını gözlemlemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak ise Deutsch-jozsa iki qubit'li algoritmasında farklı dereceden ayırık olarak tek fotonların kullanılabilceğini gözlemlediler.

Dong ve arkadaşları spektroskopi tünel taraması ile InGaP/GaAs' daki heteroyapıların grup olarak denkleştirmesi adlı çalışmasında InGaAs ' a benzeyen ara yüzlerin InGaP/GaAs heteroyapısını çalışmak için mikroskop ve spektroskop tünel taraması kullanılmıştır. Grup denkleştirmeleri potansiyel spektrumları araştırılmıştır. Üç boyutlu elektrostatik simülasyonlar kullanılarak spektrum çizgilerini araştırmışlardır.

Bouloufa ve arkadaşları; Uzay kurulumlarında InGaP/InGaAs/Ge üçlü birleşik güneş hücresinin fotovoltaik parametrelerce çıkarımı adlı çalışmasında son yıllarda çoklu birleşik solar hücreleri fotovoltaik sistem kuruluşlarında çok yüksek verim almak için kullanılmakta ve ilgi çekmektedir. InGaP/InGaAs/Ge güneş hücresi verimliliği %41.1 ve üzerine çıkarabiliyor. Sonuç olarak Ge

dibinde çok düşük bir boşluk kalıyor ve kızılötesinde tüm foton enerjileri elde edilebilmektedir kanısına vardılar.



3. TEORİ

3.1. Yarı İletkenler

Dünya üzerinde hazır olarak veya laboratuvar ortamında üretilen maddeler elektrik iletkenliklerine göre üç gruba ayrılır : İletkenler, Yalıtkanlar ve Yarı iletkenlerdir. Elektronik devrelerde maddelerin iletkenliği üzerine yapılır. İletkenlerin, yarıiletkenlerin ve yalıtkanların elektriksel iletkenliği cisimdeki serbest elektronların sayısına, dolayısıyla da bir elektron ortamda serbest kalabilmesi için gerekli olan enerjiye de bağlı olduğu anlaşılmaktadır.

Özdirenç, elektriksel özellik bakımından metaller (iletkenler) ile yalıtkanlar arasında bulunan ayrıca çeşitli etkenlerin (sıcaklık, aydınlanma, elektrik alanı, katkılama) etkisiyle son derece değişebilen katı bileşiklere yarıiletken denir. Elektriksel özelliklerinin bu denli değişken olması elektronik cihaz teknolojisi ve araştırmaları için yarıiletkenleri doğal seçenek haline getirmektedir.

ABD'de 1948 yılında Shockley , Bardeen , Brattain tarafından keşfedilen transistör sayesinde yarı iletkenlerin özelliklerinin incelenmesi ve kullanılması sağlanmıştır. Yapısı gitgide daha karmaşık olan bileşenlerin geliştirilmesi çağdaş elektroniğin tüm işlevlerinin sağlanmasına yol açmıştır. Doğrultma, kuvvetlendirme, komütasyon, otomatikleşme gibi bileşenler yarı iletken teknolojisinde az yer kaplama (minyatürleşme),montaj kolaylığı, sağlamlık ve yüksek güvenilirlik gibi çeşitli üstünlükler sağlamaktadır.

Metaller ile yarıiletkenler arasındaki fark , özdirençin sıcaklıkla değişiminden gayet net bir şekilde anlaşılmaktadır. Metallerde özdirenç sıcaklıkla doğru orantılı olarak artmaktadır. Katkısız bir yarıiletkenin özdirenci ise metallerin aksine sıcaklık arttıkça eksponansiyel olarak küçülür.

Yarıiletkenlerin özdirenç kriterlerine göre ayırt edilmesi her zaman geçerli değildir. Çünkü bu tip maddelerin dirençleri sıcaklıkla düzgün değişme göstermez. Yani düşük ve yüksek sıcaklıklarda farklı özellik gösterebilirler. Yarı

iletkenler yüksek sıcaklıklarda (oda sıcaklığında) metallere, düşük sıcaklıklarda (mutlak sifira yaklaştığında) yalıtkanlara benzer davranış göstermektedir.

Yarıiletkenler saf yarıiletkenler (Si ve Ge), bileşik yarı iletkenler(GaAs, InAs, InSb, InP, ...) olmak üzere iki ana grupta incelenir.

Yarıiletkenler periyodik tabloda IV. Sütun ve bu sütuna komşu sütunlarda bulunurlar. Bunların en önemlileri ise Silisyum ve Germanyumdur. Si ve Ge periyodik sistemin 4 valanslı yani IV A grubu elementleridir. Bu yarıiletkenleri oluşturan atomların yapı içindeki dizilimleri düzlemsel olarak gözlenmektedir. Fakat gerçeekte atomik dizilimleri üç boyutlu ve elmas yapıdır. Bu kristal yapıda atomlar bir tetrahedronun köşelerine ve içine iyice yerleşmiştir. Bu yapıdaki bir atomun en yakın 4 komşuluğu vardır. Bu durum valans elektronlarının ortaklaşa kullanıldığı kovalent bağlanmanın bir sonucudur. Yani yarıiletken malzemeyi oluşturan atomların bağ biçimi kovalent bağdır.

Valans elektronlarının ortaklaşa kullanıldığı kovalent bağ sisteminde ise bağlar sıcaklığa aşırı duyarlıdır.bu bağların oda sıcaklığında kopması ile elektronlar serbest kalır. Kopan bu elektronlara iletim elektronları denir ve iletkenliğe katkıda bulunurlar.

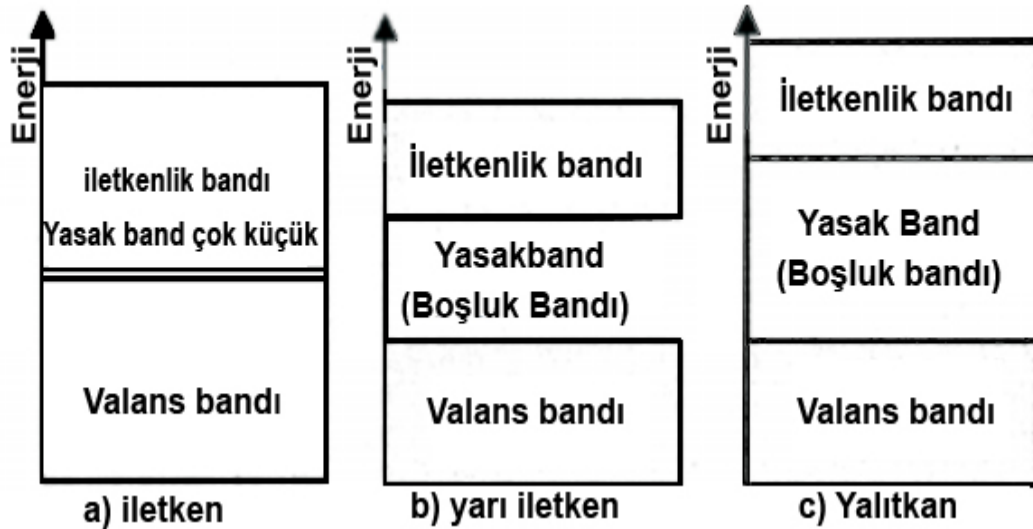
Yarıiletkenlerin iletkenlik mekanizması da yalıtkanlar ve iletkenlerden oldukça farklı ve karmaşıktır. Metallerde (iletkenlerde) sadece tek tür akım taşıyıcısı (elektronlar) vardır. Yarıiletkenlerde ise akım taşıyıcıları olarak elektronlar ve boşluklar yer almaktadır. Elektronlar iletim bandında, boşluklar ise valans bandında bulunur.

Isı enerjisi etkisiyle yarıiletkenlerde serbest yük taşıyıcılarının (elektronların ve boşlukların) konsantrasyonun arttığı gözlenmektedir. Bu yöntemle meydana gelen yük taşıyıcılarına dengeleyici yük taşıyıcısı denir. Bundan başka, serbest yük taşıyıcıları ışık, elektrik alan, basınç, gama ışınları, hızlı parçacıkların (elektron, proton, nötron. İyonların bonbardımanı) etkisiyle de oluşabilir.

Yarıiletken malzeme oluştuğunda yani kovalent bağ sırasında komşu atomlar kuvvetli elektrik alan etkisiyle valans elektronlarının enerji düzeyi banda ayrılır. Valans elektronlardan oluşmuş enerji bandına valans band denir. İletim ve valans band arasında yasak band bulunmaktadır. İletim bandının tavan enerjileri farkı yarıiletkenin yasak enerji band genişliğini karakterize eder.

Kusursuz ve katkısız yarı iletkenlerde elektronların enerjisi yasak band enerjileri içinde olamaz. Yasak band genişliği yarıiletkenlerin kimyasal bağ türü ve atomların türü ile belirlenir. Farklı yarıiletkenlerin yasak band genişliği 0.1 eV 'dan 5 eV 'a kadar değişebilir. (Derun,2005).

Yarı iletkenlerin band diyagramı (T=0) yalıtkanların band diyagramına benzer. Aralarındaki fark sadece onların yasak band genişlikleridir. Yarı iletkenlerin yasak band genişliği daha daha küçüktür.



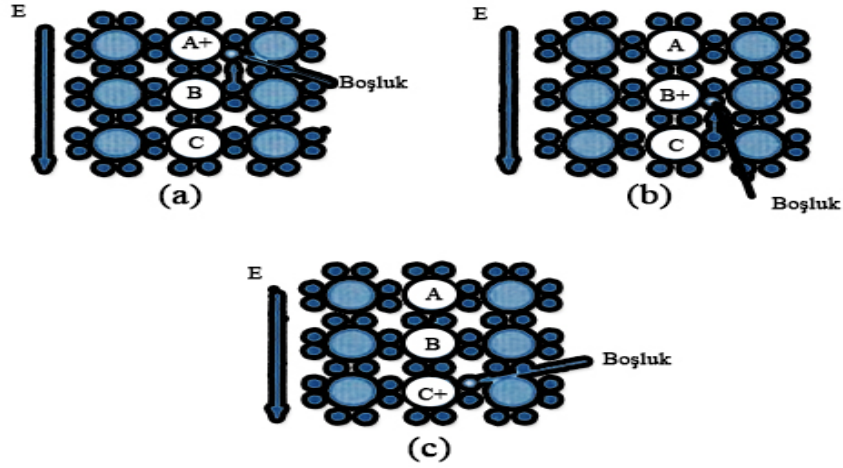
Yarı iletkenlerin yasak band genişliği (yalıtkanlara göre) daha küçüktür ($E_g=0.1-3$ eV) ve ısısal enerjileri nedeniyle, elektronlar valans bandından boş iletim bandına geçebilirler. Bu durumda elektrik akımı oluşturabilirler. Bundan başka, yarıiletkenlerde katkılara ve dış etkilerle (sıcaklık,ışık,basınç,gama ışınları ve elementer parçacıklarla bombardıman vb.) iletim bandında yük taşıyıcılarının yaratılması mümkündür.(Arakawa ve Hirayana,2001).

3.2. Katkısız Yarı İletkenler

Periyodik sistemin IVA grubu elementleri olan Si ve Ge saf yarıiletkenlerdir ve elementel yarıiletken ismini alırlar. Saf Si ve Ge her tam atom dört çevre elektronu içermektedir. Komşu atomları ile birlikte, her atomun dış katmanı sekiz atomla donanır ve buda büyük bir kararlılık özelliğidir. Soğuk ortamda bu cismin içindeki serbest elektronlar çok azdır ve elektriksel iletkenlik çok zayıftır. Yani yarı iletken bu durumda yalıtkan ile karşılaştırılabilir. Sıcaklık yükselirse titreşim nedeniyle bazı elektronlar serbest kalır ve elektriksel iletkenliğe bağlı olan statik bir denge oluşur.

Katkısız yarı iletkenlerin elektriksel iletimleri kendine özgü iletim özellikleri ile belirlenen saf yarıiletkenlerdir. Katkısız yarı iletkenlerde elektrik iletimi saf silisyum kristal kafesinde elektrik yükü iletimi ile de ifade etmek mümkündür. Si ve Ge gibi katkısız yarı iletkenlerde elektrik iletimi hem elektronlar hem de boşluklar yük taşıyıcı olarak uygulanan alan içinde hareket eder. İletim elektronları negatif yüke sahip olmakla beraber elektrik devresinin pozitif ucu tarafından çekilir. Diğer taraftan, boşluklar pozitif yük gibi davranır ve elektrik devresinin negatif ucu tarafından çekilir. Bir boşluk, büyüklüğü elektronunkine benzeyen eşit bir pozitif yüke sahiptir.

Bir boşluğun elektrik alandaki hareketi şekil üzerinde şöyle açıklanabilir. A atomunun bir elektronunun eksik olduğu yerde boşluk olduğunu varsayarsak Şekil 3.1 de gösterilen yönde ve büyüklükte bir elektrik alan uygulanırsa B atomunun bağ yörüngesindeki elektronlardan birisi A atomunun boşluğuna yerleşecektir. Boşluk bu sefer B atomuna geçmiştir ve görüldüğü üzere uygulanan elektrik alan yönünde hareket etmiştir. Aynı sistem B ve C atomlarında da uygulanabilir. Bu duruma göre şöyle diyebiliriz. Silisyum gibi saf yarı iletkenlerde, eksi yüklü elektronlar uygulanan elektrik alanın tersi yönünde yani artı uca doğru hareket ederler. Tam tersi olayda ise pozitif yüklü boşluklar da uygulanan alan yönünde eksi uca doğru hareket eder.



Şekil 3.1. Saf silisyum yarı iletkeninde elektrik iletimi (Pişkin,2006).

3.3. Katkılı Yarı İletkenler

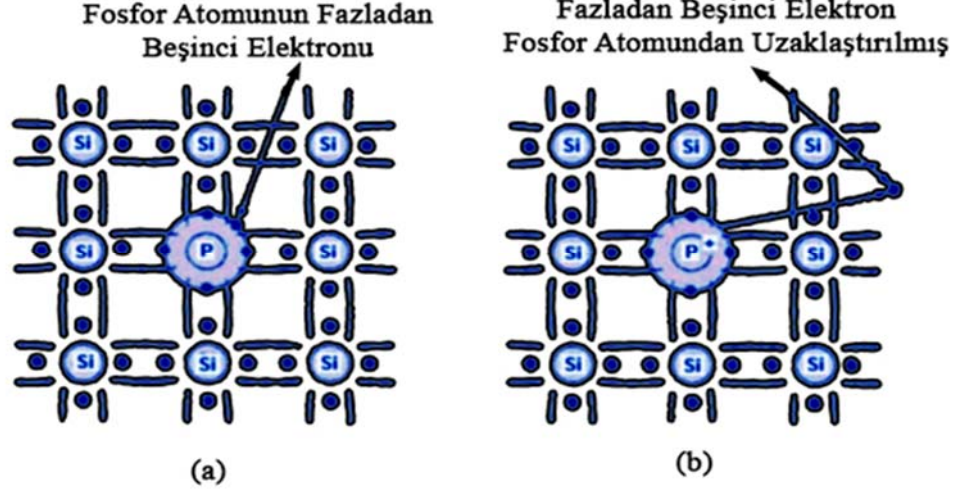
Katkılanmış yarıiletkenler, saf yarı iletkene çok düşük oranda (eser miktarda) yabancı atomların ilavesi ile elde edilir. Fakat katkı atomlarının ve katkı oranının seçimi rastgele değildir. Katkı oranı 10^3 ile 10^{10} arasında değişir. Si veya Ge atomları 4 valanslı olduğundan katkılanan atomlar ise 3 valanslı veya 5 valanslı olmalıdır. Bu katkı sonucunda ortamdaki akım taşıyıcıları olan boşluk veya elektronların yoğunlukları büyük oranda artar. Çünkü bu katkı sonucunda yasak band genişliği olan E_g büyük oranda küçülür.

Katkılanmış yarı iletkenler kendi içerisinde ise pozitif tip (P tipi) ve negatif tip (N tipi) olmak üzere iki kısma ayrılır.

3.3.1. N tipi katkı yarıiletkenler

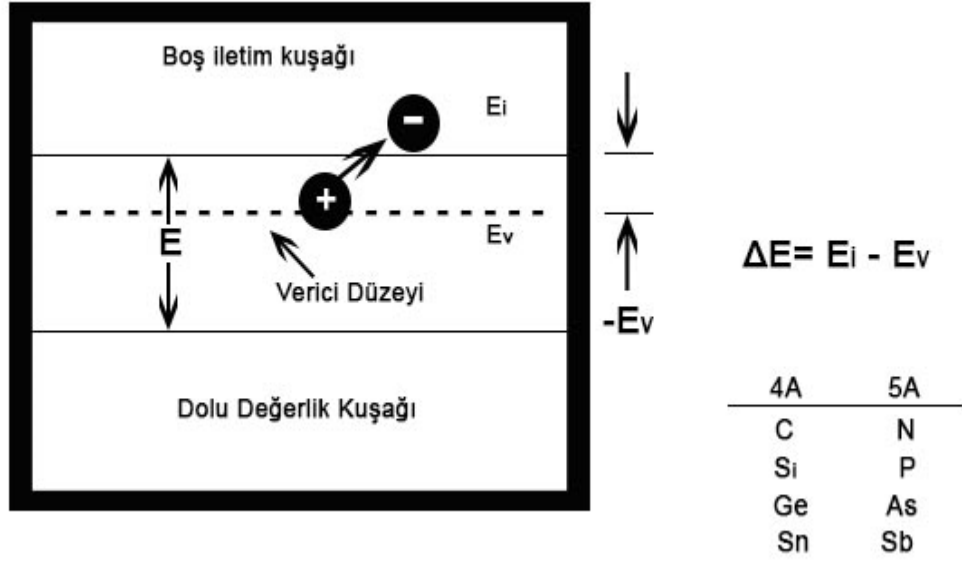
Si ve Ge gibi 4 valanslı yani IVA grubu elementleri saf yarı iletkenlerdir. Bu saf yarıiletkenlere 5 valanslı yani V A grubu elementi katkılanırsa, katkı atomu valans elektronlarının dördünü kullanarak en yakın 4 komşu Si veya Ge atomu ile kovalent bağ kurar. Katkı atomunun 5. Elektronu bağa giremediğinden kolayca serbest kalır, negatif özellik kazanır ve iletim elektronu olur. Ortama elektron veren bu katkı atomuna verici atom (donör) denir.

P, As, Sb, GaP, GaAs gibi V A grubu katkı atomları silisyum veya germanyuma katıldığında elektrik iletimi için kolaylıkla iyonlaşan elektronlar verirler. V grubu katkı atomlarını içeren Si veya Ge yarıiletkenlerinde çoğunlukla yük taşıyıcıları elektron olduğundan n-tipi (eksi tip) katkılı yarıiletken olarak adlandırılır.



Şekil 3.2. Silisyum atomunun fosfor atomu ile katkılanması N tipi (Pişkin, 2006).

Şekil 3.2 Silisyum kristali içindeki P, As ve Sb gibi V A grubu elementlerinin fazla elektronlarının verici düzeyini göstermektedir. Verici enerji düzeyindeki elektronlar uyarılarak iletim bandına geçebilmek için az miktarda enerjiye ihtiyaç duyarlar.

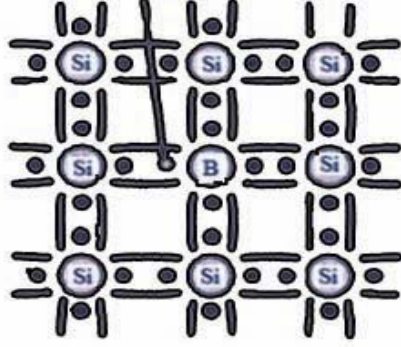


Şekil 3.3. N-tipi katkılı yarı iletkenin enerji kuşağı çizelgesi (Pişkin,2006).

3.3.2. P-tipi katkılı yarı iletkenler

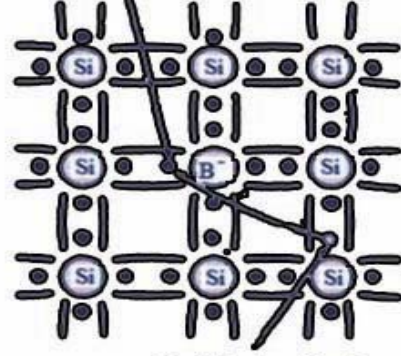
Si ve Ge gibi 4 valanslı saf yarıiletkenlere 3 valanslı yani 3A grubu elementi katkılanırsa katkı atomu en yakın 4 komşu Si atomu ile kovalent bağ kurar. Kovalent bağ kurabilmek için ortamdan bir elektron alarak valans elektronları sayısını 4 e tamamlar. Alınan bu elektron diğer bir kovalent bağı bozduğundan yeri boşluk olarak kalır. Böylece her katkı atomu bir boşluk oluşumuna neden olur. Yani ortamdaki boşluk yoğunluğu katkı atomu yoğunluğu kadar artar. Ortamdan elektron alan bu katkı atomlarına alıcı (akseptör) atom denir. Bor ve silisyum atomlarını ele aldığımızı varsayalım. Eğer silisyum kristaline bir dış elektrik alan uygulanacak olursa bir diğer komşu dörtyüzlü bağından bir elektron yeterli enerjiye ulaşarak kendi bağından kurtulup, bor atomunun eksik bağına yerleşmek için hareket edecektir. Bir elektrik alanı uygulanması halinde, bor atomunun iyonlaşmasıyla yaratılan boşluk bir pozitif yük taşıyıcısı gibi davranır. Bu durumda silisyum kafesinde negatif uca doğru hareket eder.

Bor atomunun dördüncü baş
elektronu bulunmadığından
bir boşluk oluşuyor



(a)

Bor-silisyum bağındaki boşluğu
doldurmak üzere bir silisyum
atomundan elektron alınır



Yeni bir boşluk oluşuyor

(b)

Şekil 3.4. P tipi katkılama, silisyum kafesinin bor atomu ile katkılanması (Pişkin,2006).

4. NANOTEKNOLOJİ

“Nano” terimi, oluşacak olan herhangi bir şeyin bir milyarlarca ölçekten biri anlamına gelir. “Nanoteknoloji”, “nanobilim” gibi başında “nano” öneki bulunan terimler, “nanometre” teriminden gelmektedir. Temel olarak nanometre, diğer ölçüm skalalarından farkı olmayan bir ölçüm skalasıdır. Bir nanometre, aşağı yukarı orta-boyutta bir molekülün, örneğin 60 karbon atomu içeren bir molekülün boyutunda olduğu ifade edilmektedir. (Sharifzadeh, M. 2006).

Nanoteknoloji, madde ve enerjiyi ve bunlar arasındaki ilişkiyi inceleyen bilimdir. Önemi, nanometre ölçeğinde fizik kurallarının klasik fizik kurallarından farklı işlenmesinden ve maddeyle enerjinin farklı özellikler taşımalarından kaynaklanmaktadır. Parçacıklar nano boyutta nitelendirilebildiklerinde, mekanik olarak özellikleri ve diğer elektromanyetik ışınımların bunlarla etkileşimi değişebilmektedir. Nano ölçekteki malzemeler, yeni olağanüstü özellikler kazandığı için farklı olan yeni özelliklere sahiptirler.

Nanoteknoloji, özel bir bilim dalı olmaktan çok, birçok teknolojinin, ve tekniğin birleşmesi ile oluşur. Nanoteknoloji, işlevi fazla olan, ham madde ve enerji ihtiyacının daha az, küçük, maliyeti az olan cihazların üretiminin önünü açmaktadır (DTI, 2002 ve Sharifzadeh, M. 2006).

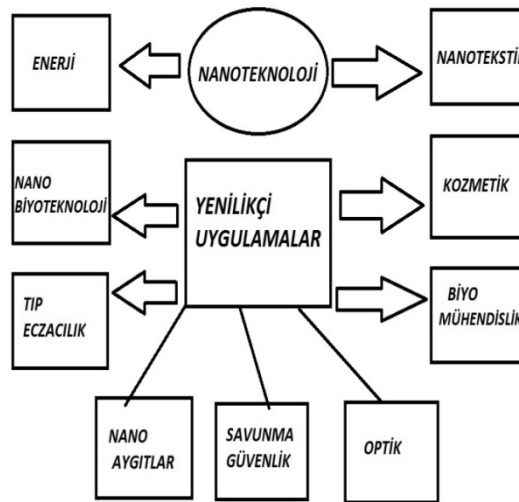
Yaklaşık olarak 50 nanometrenin altındaki boyutlarda bir çalışma yapılıyorsa, “kuantum fiziği kanunları” klasik fizik kurallarının yerini alır. Bu özellikler bir maddenin iletkenliğinde, sertliğinde, renginde ve sıcaklıkla basınca olan dayanıklılığında gözle görülebilir değişimlere neden olurlar (ETC Group 2003 ve Maclurcan D. C. 2005).

Bu tür değişimler ise, nanoteknolojinin bize kullanımı kolay, ekonomik ve kesin çözümlere olanak sağlayacağı tüm endüstriyel ve mühendislik sektörleri için yararlıdır (Morrison S., Harper T. 2003 ve Merkle R. 1997).

Nano-ölçekte fizik, kimya, biyoloji, elektronik teknolojisi, malzeme bilimleri ve mühendislik alanları ile ortak çalışmalar yapmaya başlar Tüm bu bilimsel alanlar, nanoteknolojinin bize sunduğu olasılıkları anlamaya ve bunlardan kendine fayda sağlamaya çalışır. Ancak çalışan bu bilim alanları tek bir noktaya odaklandığı zaman askeri malzemeden tıba, hatta yeni enerji sistemlerine kadar olabilecek her şeyi kendisine konu edinebilir. Ortak bir noktada birleşen nanoteknoloji bilimi artarak çoğalan uygulamaların oluşturduğu bu yapıda, telefonun ve bilgisayarın birleşmesi gibi daha önce zıt olan bu kutupların birlikte çalışmasından da kaynaklanabilmektedir. (Sharifzadeh, M. 2006).

ZnO, TiO, CdS, CdSe, ZnSe ve PbSe6 gibi nanoparçacıklar içeren polimer yapılar tıp alanında ve genetik mühendisliği alanında çeşitli kullanım alanları doğurur (Willems and van der Willenberg 2005).

Elektromanyetik dalgalara karşı özel tepki gösteren Metal oksit seramik nanoparçacıklar bize nanoboyut çalışmaları için kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Metal oksit seramik nanoparçacıklar parçacıkların sahip olduğu oldukça yüksek yüzey alanı, kırılma gücü gibi performans özelliklerini çarpıcı bir biçimde geliştirdiği ortaya çıkmıştır. Bu parçacıklar sayesinde, elektronik teknolojisinde araç ve gereçler için yeni üstün özelliklere sahip ambalaj malzemeler üretilebilir (Willems and van der Willenberg 2005).



Şekil 3.5. Nanoliflerin kullanım alanları şeması.

Şekil 3.5 de görüldüğü üzere nanometre ölçeklerinde malzemelerin sahip olduğu üstün fiziksel özellikleri kullanarak çeşitli alanlarda (tıp, savunma, tekstil, makine, elektronik, inşaat sanayileri vb.) teknolojiye yeni ürünler elde edilebilmektedir. Bu ürünlerden ise önemli gelirler elde edilmektedir (Süpüren vd, 2007).

4.1. Nanoteknoloji ve Kullanım Alanları

Nano terimi, Eski Yunan'da küçük yada bodur anlamına gelen "nanos" kelimesinden ortaya çıkmış gibi olsa da 21.yüzyıl'ın Nanoteknoloji Çağı olarak anılmasında kabul ettiğimiz başlangıç tarihi, Nobel ödüllü fizikçi Richard Feynman'ın, Amerikan Fizik Topluluğu'nun Kaliforniya Teknoloji Enstitüsünde gerçekleştirilen yıllık toplantısında, yaptığı konuşmasında Feynman, "Altlarda kullanacak daha çok oda var" sözü ile nanoboyuttaki çalışmalardan aslında bahsetmeden çok yeni bir bilimin doğmasına aracılık etmiştir..

Atom ve moleküller üzerine çalışan ve çalışmalarını Feynman'ın görüşlerine dayandıran bir diğer fizikçi Eric Drexler'dir. Ünlü fizikçi "Moleküler imalata yönelik protein tasarımı" isimli makalesinde ortaya koyduğu gibi atom ve moleküller üzerinde üretilecek çeşitli makineler vardır demiştir.

Nanoteknoloji görüntüleme alanına dahil olduğunda, çok küçük boyutlarda yani atomik boyutta sürekli ilerleyen keşifler hız kazanmıştır.

Don Eigler tarafından 1989 yılında 35 Xenon atomu ile IBM ticari logosunun yazılması yapılan ilk atomik çalışma olmuştur. Bundan sonra yapılan çalışmalar arasında Bakır (111) üzerine demir atomu kullanılarak yazılan Kanji karakteri yani "atom", platin (111) üzerine karbonmonoksit atomu ile çizilmiş olan "CO man" çocuk görüntüsü gösterilebilir. Nanoteknolojinin yaşadığı diğer gelişmelere karbon nanotüpü kullanıldığı ilk devre (2006), moleküler logic switch (2007) ve herhangi bir yüzeyde oluşan atomu yerinden uzaklaştıran kuvvetin ölçülebilmesi (2008) verilebilir. (Vey, 2008).

Ayrıca araştırmalar bize gösteriyor ki; karbon nanotüp kullanılarak geliştirilen elektrik kablolarının iç direncinin elektrik aletlerinde kullanılan kablolarla göre daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır (Anonim,2014).

4.1.1. Nanoteknoloji ve tıp

Tıp biliminde nanoteknolojinin kullanım alanı nanotıp olarak adlandırılmaktadır. Uygulama alanı konusunda nanoparçacıklar ve nanorobotlar üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Konu olarak nanotıp: hastalığı keşfetme ona çözüm bulma ve ekonomik yoldan tedavi etmeyi hedefler.

Dış ülkeler için önemli olan bişey de nanoparçacıklar ile üretilen malzemeler ile ilaçlar güvenli şekilde taşınmaktadır. Bu daha önce tedavi için üretilen ilaçların bu sefer bize tedavi için cevap üreteceği anlamına gelmektedir.

Nanofiberler gözenekli yapıda olduğu için yara ve kesik tedavilerinde de kullanılabilir. Orada oluşacak tabaka kan ve diğer sıvıların dışarı akmasını sağlayacaktır. Bunlara ilaveten,nanoteknoloji ile bakteri oluşumu da engellenmiş olacaktır..(Çakmak, 2011).

4.1.2. Nano aygıtlar

Altlarda kullanacak daha çok oda var sözü ile nanoteknoloji isminden bahsetmeden teknoloji sanayisinde yeni bir çağır açan Feymann nanoteknolojinin ne kadar önemli olduğunu vurgulamak istemektedir.

XX.yüzyılın sonlarına doğru uzay asansörü, ilerleyen tıp,yara bandları, robotlar gibi niceleri nanoteknoji aletlerine örnek verilebilir. Ayrıca yapılan çalışmalar ile bilimkurgu filmlerinde izlediğimiz bir çok sahne gerçek olmaktadır.

1981'de Binning ve Rohrer tarafından icad edilen Taramalı Tünelleme Mikroskobu (Scanning Tunneling Microscopy, STM) ile nanoteknoloji alanında

ilk atomik boyutta görüntüleme başarılmıştır ve bu onlara Nobel ödülü kazandırmıştır (Binnig vd., 1986).

Nano-optiğin uygulamalarını direk güneş panellerinde görebiliriz. Güneş paneli içine yerleştirilecek olan nanoparçacıklar veya bazı bazı optik mühendisliği harikası nano antenler aracılığıyla güneş panelinde verim artmaktadır (Anonim,2014).

Japonya'daki NEC Temel Araştırma Laboratuvarı'ndan Sumio Iijima tarafından ilk kez bulunan Karbon nanotüpler tek duvarlı ve çok duvarlı olarak hem NEC Temel Araştırma Laboratuvarı'nda ve hem de Kaliforniya'daki IBM Araştırma Merkezi'nde araştırılarak ortaya çıkarılmıştır. (Menceloğlu ve Kırca, 2008).

4.1.3.Nanoteknoloji ve savunma

Hafif, küçük ve daha dirençli yani dayanıklı bir malzeme üretimi için kullanılan son dönem teknoloji artık nano boyutta yapılan çalışmalar sayesinde olmaktadır. Nanoteknoloji sayesinde savunma sanayisi önemli gelişmeler yaşamıştır. Askerlerin kullanacağı araçlar ve askeri giysiler daha hafif olmasına karşılık daha dayanıklı hale gelmiştir. Mayınlı araziler, cephedeki patlayıcılar, biyolojik ve kimyasal silahların algılanması ise yine nanoteknolojinin bir ürünü olan nano sensörler sayesinde yapılmaktadır.

Kısacası nanoteknoloji her alanda olduğu gibi eski zamanda kalmış ürünlerin yerine savunma sanayisinde de yeni dayanıklı ve hafif ürünlerin ortaya çıktığı bir teknoloji haline almıştır.

4.2. Nanolifler

Kimyasal lif üreticilerinin daha ince ve kullanışlı lifler üretmek için yapmış oldukları çalışmalar bize nanoboyutta lifler üretmemizi sağlamıştır. Bir nanolifin tanımlanmasında kullanılan terim lif çapı olarak ortaya çıkar. Nanolifler incelikleri milyarda bir ölçekte olan lifler olarak tanımlanabilir. Tabi

her bilim ve her çalışma alanı bunu tanımlamada farklı ifadeler seçebilmektedir. Şuan bilinen ve kullanılan nanolif çapı olarak 50 - 300 nanometre arasında olduğu bilinmektedir.[Cireli ve ark, 2006; Süpüren ve ark, 2007b].

Nanolifler oldukça yüksek moleküler uyum içindedir ve küçük boyutta olmaları bize hata oranının düşük olmasını sağlamakla beraber dayanıklılıklarının artmasını sağlamaktadır. Ayrıca dayanıklılıklarının fazla olması iyonları ve çok çeşitli nano seviyedeki partikülleri tutma ve yayma kapasitelerinin yüksek görünmesini sağlar [Süpüren ve ark, 2007a].

Nanolifler; sudan korunma, boya ve leke tutmama, ütü istemeyen kumaşlar gibi üretim yapılmasına olanak sağlamıştır. [Demir ve ark, 2007].

Nanoliflerin üretimi ile daha ucuz ve kullanışlı malzemelerin piyasaya girmesi çok yakında mümkün olacaktır. [Yıldırım ve ark, 2004].

4.2.1. Nanoliflerin üretimi

Konvansiyonel lif üretim teknikleri, çözeltinin bir düzenekden geçirilmesini sağlama ve üretilen liflerin katılaşmaları sayesinde olmaktadır. Şuan mevcut olan yöntemler hem kolay hem de ekonomik olsa da lif üretim metotlarında kullanılan düze çapının nanolifleri üretebilecek kadar küçültülmesinin imkansız olmasıdır [Yıldırım ve ark, 2004].

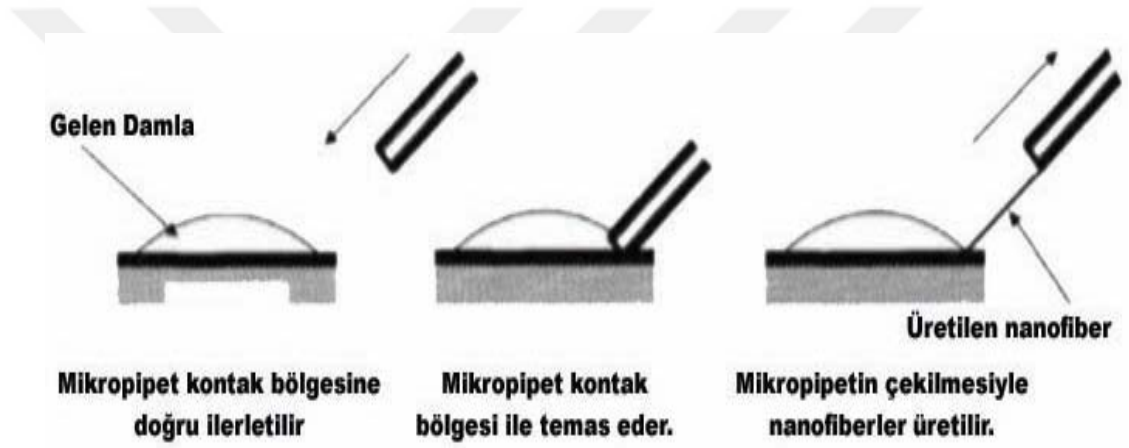
Nanoliflerin bir sürü üretim tekniği bulunmaktadır.

- Çizme yöntemi
- Faz ayırma
- Kendiliğinden tutunma
- Kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD)
- Nanokalıp
- Eriyikten püskürtme
- Lazer buharlaştırma
- Fibrilasyon yöntemi
- Meltblown yöntemi

- Bikomponent yöntemi
- Spunbond yöntemi
- Elektroğirme (electrospinnig) yöntemi

4.2.1.1. Çizme yöntemi

Mikrometre yarıçapa sahip mikropipet yardımıyla çalışılan bu üretim metoduyla mikro manipülatör yardımıyla polimer damlacığına daldırılarak yaklaşık 10⁻⁴ m/s hızla çekilir. Fiberler bir yüzeyde toplanmış olur ve lif üretimi gerçekleşir (Şekil 4.1) (Süslü, 2009).



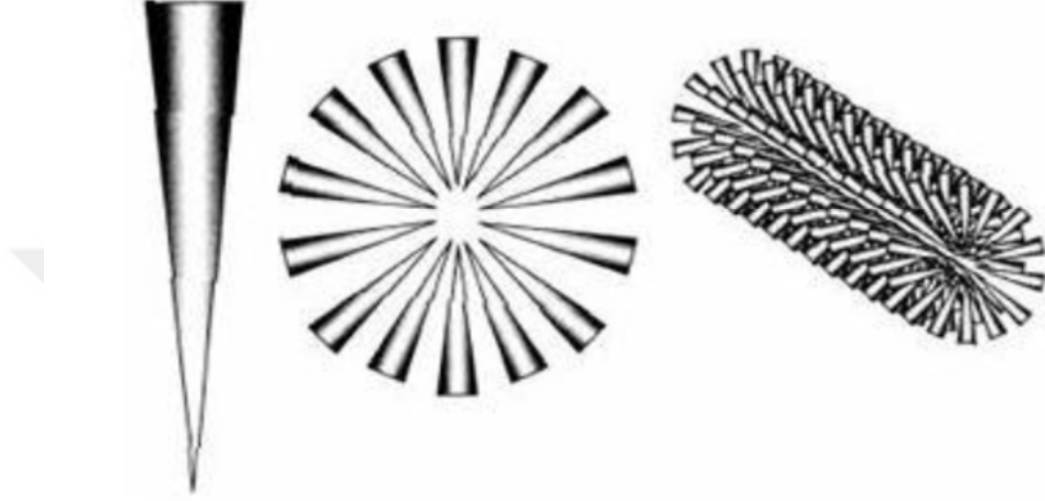
Şekil 4.1. Çizme yöntemi ile nanofiber üretimi (Ramakrishna ve ark, 2005).

4.2.1.2. Faz ayırma yöntemi

Faz ayırma yöntemi 5 aşamada gerçekleşmektedir. Polimer çözülür. Polimerin jel halini alması için uygun kimyasal maddeler eklenir, daha sonra jelleşmenin gerçekleşmesi için teflon şişeye konulup soğuk bir ortam yada derin dondurucu da bekletilir. Çözücünün uzaklaşması için çeşitli yöntemler vardır ve bunlardan birin de saf suyun içerisine konur ve 2 gün bekletilir. Su içerisindeki jel çıkarılır ve süzülür, donması için -18°C de 2 saat bekletilir. Derin dondurucuda Donmuş halde olan jel soğuk kurutma ortamlarına boşaltılır ve -55°C de 1 hafta bekletilir (Süslü, 2009).

4.2.1.3. Kendiliğinden tutunma yöntemi

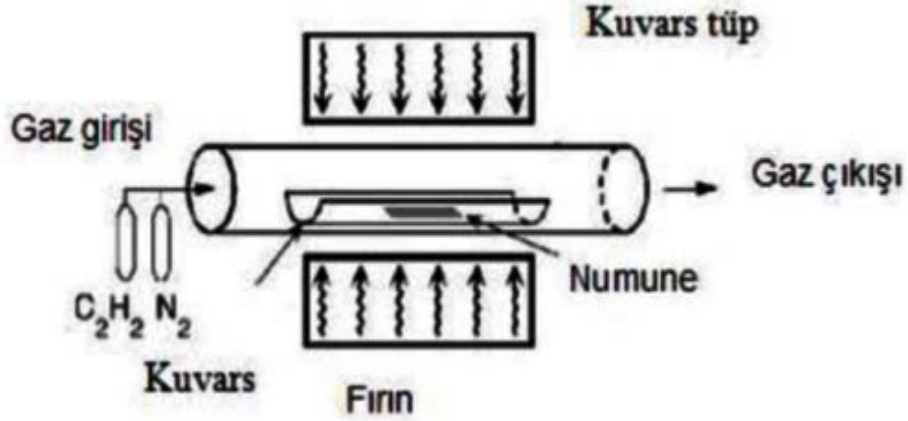
küçük molekül ve blok inşa edilirken eş merkezli olarak bağ oluşturacak şekilde dizilmesi sağlanır ve moleküllerin büyük oranlarda birleştirilerek fiberler elde edilir. Burada oluşacak yapılar nanofiberlerin şeklini belirler(Süslü, 2009).



Şekil 4.2. Kendiliğinden tutunma yöntemi ile nanofiber üretimi (Ramakrishna ve ark, 2005).

4.2.1.4. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi (CVD)

Karbon nanotüplerin üretimi aşamasında en çok tercih edilen yöntemlerden biridir.kullanılan meten,karbon monoksit ve asetilen gazları için enerji transferi gereklidir. Bunu sağlamak için dirençle ısıtılan bobinler kullanılır. Ni, Fe, Co gibi elementler ile katalizörle kaplanmış olan ve ısıttığımız altlığa doğru yayılarak üretim yapılmış olur (Süslü, 2009).



Şekil 4.3. Buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi.

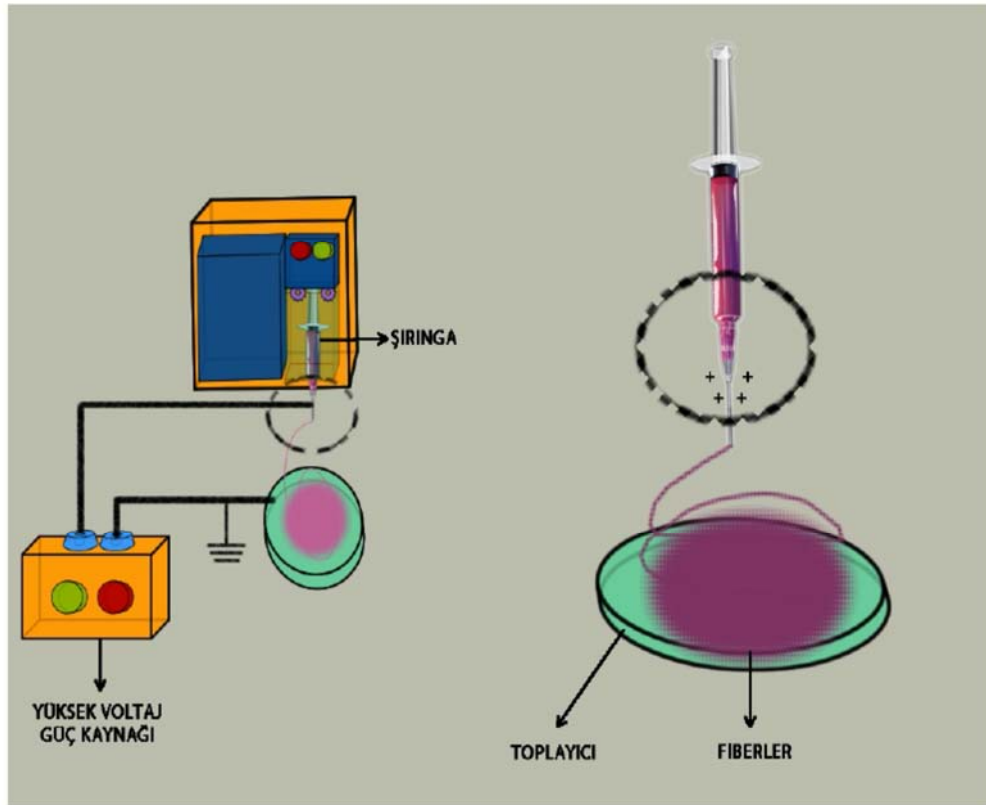
4.2.1.5. Elektroğirme (elektrospinning) yöntemi

Nanolif üretim teknikleri arasında elektrostatik ve elektriksel kuvvet teknikleriyle elde edilen lifler istenilen tüm özellikleri sağlayabilmekle beraber, lif inceliği de kontrol altına alınabilmektedir. Bu yöntemde, üretilen polimer çözeltilerinden yada lif eriyiğinden lif elde etmek için elektrostatik kuvvet kullanılmaktadır [Özdoğan ve ark, 2006c].

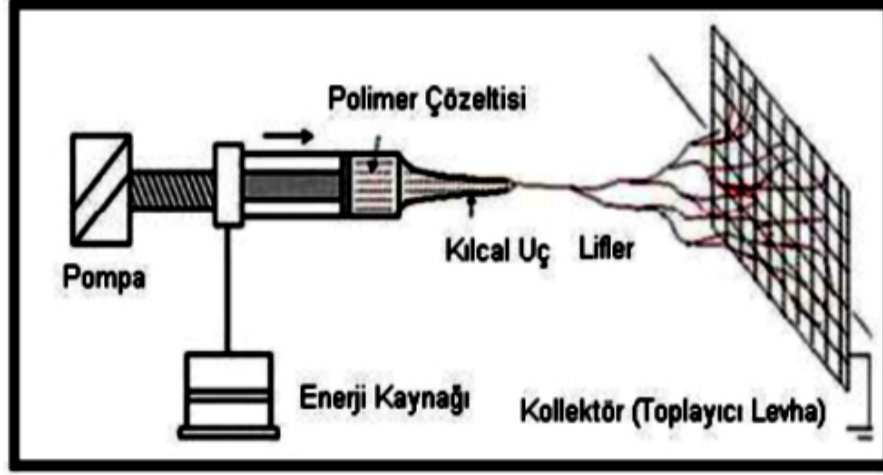
Elektrostatik kuvvetler kullanılarak polimer çözeltilerden lif üretilmesi işleminin patenti alınmış ve kullanılan bu teknik “elektrospinning” olarak tanımlanmıştır. Son zamanlarda, bu teknik ile elde edilen liflerin çaplarının mikrometre altında uzunluklarda çıkmaları ve bu ölçülerin filtreleme, kompozitleri güçlendirme ve tıp, biyomedikal cihazlar gibi geniş uygulama alanları için elverişli olmalarından dolayı bu yönetime olan ilgi oldukça fazladır [Cha ve ark, 2005].

Elektro-spin teknolojisi sol-jel yöntemi ile birleştirildiğinde, polimer çözeltilerden belirli bir elektrik alan altında sürekli nanofiber veya dolgulu nanofiber üretimi gerçekleştirilmektedir. Elektro-spin, katı halde ve boşluk yapısı olan, içyapılı, istenilen uzunluklarda, homojen şekilde dağılmış ve çeşitli bileşimlerde nanofiber üretimi sağlayan bir yöntemdir (Dan, ve ark 2004).

5000 V ve 30000 V arasındaki elektrik akımı bir polimer çözeltinin üstünde oluşacak yüzey gerilimini yok etmektedir. Yüzey gerilimine sahip olmayan polimer çözeltisi, özel bir tasarım olan ve diğerlerine göre kat kat ince yapıdaki jet düzeneğinden geçirilerek düzenin karşısına yerleştirilmiş olan topraklama yapılmış levhaya doğru yol almaktadır. Lif ışını şeklinde topraklama yapılan yüzeyde biriken lifler devamlı olarak tabaka tarafından kendi yörüngesine doğru çekilmektedir. Elektrospinning yöntemi, polimer çözeltinin önce çok yüksek voltajlı elektrik akımı ile yüklenmeleri sonucu ve daha sonra bir düzenekten topraklanmış olan bir plakaya doğru yol almaları esnasında katılmış olma ve lif halini almaları şeklinde özetlenebilmektedir [Özdoğan ve ark, 2006c].



Şekil 4.4. Elektroğirme tekniği şeması.



Şekil 4.5. Elektrospinning düzeneğinde liflerin oluşumu (Süpüren ve ark, 2007).

Elektroçirime yöntemi için gerekli deney düzeneği Şekil D’de görüldüğü gibi önemli görülen üç parçadan oluşmaktadır;

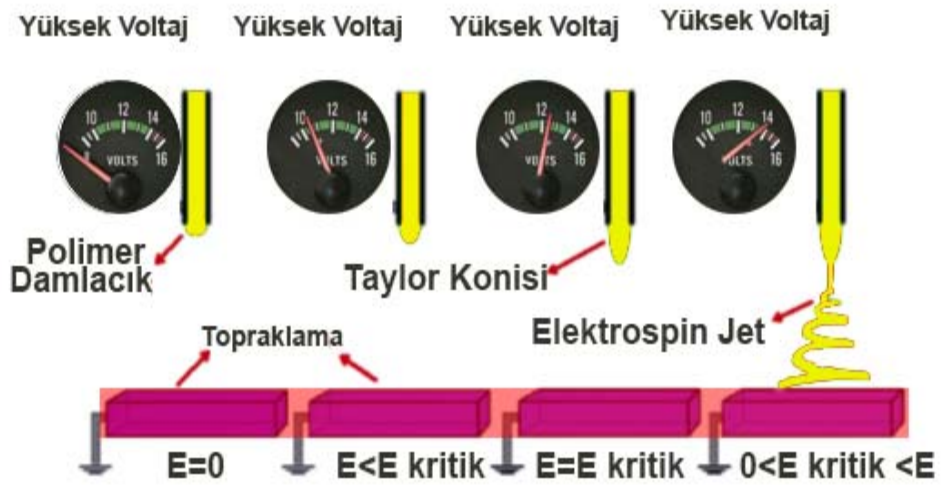
1. Güç kaynağı
2. Sistemi besleme ünitesi (şırınga, metal iğne)
3. Toplayıcı kısım (iletken plaka, döner silindir)

Polimer çözelti sıvısı ile dolu olan kılcal boru sistemine elektriksel özellikleri olan elektrotlar yardımı ile yüksek elektriksel gerilim verilip burada oluşan elektrik alan sayesinde lifler üretilmektedir. Polimer çözeltisi piston olan bir şırınga içerisine konulup Şırınganın ucu paslanmaz çelikten olup elektrot görevi görmektedir. Karşıt elektrot görevini üstlenen metal plaka kılcal borunun altına yerleştirilmiştir. Kılcal borunun ucu ile elektrot arasına yüksek elektriksel gerilim uygulanmaktadır. Kontrollü şekilde oluşan hız ile şırınga içindeki piston bir motor ile uyarılarak hareket ettirilmektedir.

Polimer çözeltisinin veya oluşturulmuş olan eriyiğinin içinden çıkan damla şırınganın metal kısmından çıkmakta ve sıvı için oluşan kohezyon kuvvetleri sayesinde damlama olmadan bir süre koni şeklinde asılı kalmaktadır. Eğer oluşan polimer çözelti serbest yüzeyi bir elektrik alanolan ortamda bırakılırsa, hava ile polimer çözelti ya da eriyik yüzeyi arasında bir elektriksel yük oluşacaktır. Elektriksel yük itme kuvveti ile oluşan itme gücü yüzey gerilimine

karşı koyabilecek bir kuvvetin doğmasına sebep olur. Eğer ki verilecek olan gerilim bir minimum değeri geçerse elektriksel kuvvetler yüzey gerilimini aşmış olacaktır ve polimer çözülden ya da eriyikten damlanın yörüngesinin dışına çıkmasına sebep olmaktadır [Şenol ve ark, 2005;].

Elektrik alan yeterli olduğu zaman bu kuvvetler damlanın şeklini taylor konisi olarak bilinen koni şekline çevirir (Çakmakçı,2009).



Şekil 4.6. Elektrospirme tekniğinde kritik voltajın üretime etkisi şeması.

Bu durumda diğer tarafta durmakta olan elektroda doğru yönelmiş hareket başlamaktadır. Bu etrafa doğru saçılmakta olan damlaya “jet” denilmektedir. Bu jet içerisindeki çözügen diğer taraftaki elektroda hareket etme aşamasında sıvı halden gaz haline geçmekte ya da eriyik katılaşmakta ve katı halde lifler ortaya çıkmaktadır. Bu oluşan lifler etrafa rastgele saçılma aşamasında büyük ihtimalle inceltme göstermişlerdir. Lifler, diğer tarafta bulunan elektrotun üzerinde ya da bu elektrot üstüne yerleştirilmiş olan bir maddesel cisim üzerinde toplanmaktadırlar. Oluşan liflerin çapları 5 nm’den başladığı görünmektedir [Erkan ve ark, 2005].

Jet ile taşınan elektrik yüklerinden kaynaklanan radikal kuvvetlerin oldukları bölgede yayılma meydana gelir. Bu kuvvetler, jet içindeki kohezif kuvvetlerden daha büyük hale geldiklerinde ise tek bir jet birçok jete parçalanır. Bu olay: lifler kolektör üzerinde toplanmadan önce olur. Bu yayılma prosesi ile ilgili halen az şey biliniyor olmasına rağmen elektriksel kuvvetlerle jetin ivmelenmesine bağlı olan uzamanın bundan sorumlu olduğu düşünülmektedir [Şenol ve ark, 2005].

Elektroçirime işleminde en çok görünen kararsızlık hali whippingdir. Whipping oluşumunu, jet yüzeyindeki yüklerin karşılıklı olarak birbirlerini itmesi ile meydana gelen ve yüklerin bir arada olamamalarından dolayı jette merkezden radyal bir şekilde tork oluşması ile meydana gelir. Jet toplayıcı plakaya yaklaştığında ise ana jetten ayrılan küçük jetler meydana gelir. Bu küçük jetlerin oluşmasının nedeni ise radyal yüklerin birbirini itmesi sonucu ana jetten ayrılması olarak açıklanmıştır. Jet yeterince incelendiğinde ve viskoelastik kuvvetler yeterince sönümlendiğinde yeni whipping kararsızlıkları oluşur. Bu kararsızlık haline ikinci whipping kararsızlığı denir (Kozanoğlu,2006).

Bu aşamada elektrospinning yöntemini etkileyen parametreleri bulunmaktadır [Şenol ve ark, 2005; Erkan ve ark, 2005; Demir ve ark, 2007].

Elektroçirime yöntemine etki eden faktörler:

1. Polimer Çözelti ya da eriyik etrafında oluşan değişken faktörler

- Moleküler ağırlık,
- Moleküler ağırlık dağılımı,
- Polimerin yapısı
- Çözelti özellikleri

2. İşlem değişkenleri ile ilgili faktörler

- Kılcal boru ucundaki elektrik potansiyeli (uygulanan elektriksel gerilim),
- Kılcal boru içindeki hidrostatik basınç,
- Akış hızı,

- Kılcal boru ile kolektör arasındaki mesafe
- Toplama plakasının hareketi,

Çalışmanın amacına uygun olarak seçilebilecek en ön planda olan değişkenler: Polimer çözeltisinin akışkanlığı (direkt olarak çözücü içindeki polimer durumu ile alakalı durum) ve uygulanan gerilimdir. Buna rağmen değişen bu parametrelerin kesin etkisi en çok polimer çözeltisinin özel kompozisyonuna bağlı olduğu söylenmektedir [Parlakyiğit ve Topalbekiroğlu, 2005].

Molekül ağırlığı ve viskozite; kullanılan polimerin molekül ağırlığı çözeltinin viskozitesini büyük ölçüde etkilemektedir. Yani yüksek molekül ağırlığına sahip polimerler molekül viskozitesinde büyük olmasına neden olmaktadır. Lifler meydana getirilirken elektroegirme yöntemi için kullanılan polimerin molekül ağırlığı dolayısıyla çözelti viskozitesi uygun seçilmelidir. Çözeltinin viskozitesinin yüksek olması iğne ucunun tıkanmasına neden olurken düşük olması ise çözeltinin yerçekimi etkisi ile iğne ucundan damlamasına ve üretimin gerçekleşmemesine neden olur. Ayrıca düşük viskozite liflerin boncuklanmasına neden olurken yüksek viskozite kalın liflerin oluşmasına bununla birlikte lif çaplarının kalın olmasına neden olmaktadır.

Yüzey gerilim kuvveti; lif oluşumunun gerçekleşebilmesi için elektrostatik kuvvetlerin yüzey gerilimini yenmesi gerekir. Çözücü konsantrasyonu fazla olduğunda yüzey gerilimi etkisi ile liflerde boncuklanma görülebilir. Yüksek viskozite çözücü ve polimer molekülleri arasında etkileşim ile boncuklanma eğilimini azaltır ve düzgün lif oluşumunu sağlar.

Çözelti iletkenliği; çözelti iletkenliğinin fazla olması içinde daha çok yüklü iyon barındırması jet üzerindeki yüklerin itme çekme kuvvetinin fazla olmasını dolayısıyla jetin uzamasını sağlar ve lif oluşumu kolaylaştırır. Tuz veya polielektrolit küçük bir miktar solüsyona ilave edildiğinde jetin yük taşıma kapasitesi artar.

Çözücünün dielektrik sabiti; bir çözücünün dielektrik sabiti elektroğirme üzerinde önemli bir etkisi vardır. Genel olarak, daha büyük bir dielektrik özelliği olan bir çözelti ile boncuk oluşumu önlenir ve daha küçük çaplı lifler üretilir.

Uygulanan voltaj; elektro üretimde en önemli parametrelerden biride çözeltiye uygulanacak olan yüksek voltajdır. Üretim sırasında iğnenin uç kısmında koni şeklinde duran polimer damlası öyle bir gerilim değerine kadar, yüzey geriliminin uyguladığı elektriksel kuvvetler sonucunda, küre şeklinde bir durumda bulunur. Uygulanan potansiyel fark bir eşik değerine ulaştığında elektrostatik kuvvetler yüzey gerilimi kuvvetlerine eşitlenir ve bu küre koni şeklini alır. Bu koni Taylor konisidir. Bu durumdan sonra artan potansiyel fark ile iğne ucundan jet fışkırır. Yüksek voltaj lifin yalnızca fiziksel görünümünü değil polimer kristal yapısında etkiler. Çünkü elektrik alan polimer moleküllerinin daha düzgün dizilmesine neden olur buda oluşan liflerin kristal yapısı üzerinde etkilidir. Polimer moleküllerinin yönlenmesi zaman alır. Gerilim arttırılırsa polimer iğne ucundan toplayıcı plakaya daha kısa sürede ulaşır ve dizilim için yeterli süre olmayabilir. Yani lif üretimde voltajın kritik değerde bulunması şarttır.

İğne ucu ile altlık arasındaki mesafe; iğne ucu ile altlık arasındaki mesafe artarsa elektrik alan azalır ve fiberler daha uzun süre havada kalır. Bu mesafenin artması ile jetin izleyeceği mesafe artacağı için lifin inceliği artar ve lifler kuru bir şekilde plakada toplanır. Mesafenin kısalması boncuklanmaya neden olabilir. İğne ucu; iğne çapı azalırsa oluşan fiberlerin çapıda azalır.

Toplayıcı plaka; toplayıcı plakanın iletken oluşu, plaka ile iğne ucu arasında elektrik alan oluşmasını kolaylaştırır.

Çözelti akış hızı; akış hızındaki artış lif çapının kalın olmasını neden olur. Aynı zamanda gözenek çapını büyük olmasına da neden olur. Bunun nedeni ise uygulanan gerilimin sabit kalması nedeniyle malzemeyi inceltecek elektriksel kuvvetlerin azalmasıdır (Ramakrishna vd. , 2005).

Diğer bütün değişkenler (elektriksel iletkenlik, maddenin dielektrik sabit kavramı ve kılcal uç kısmına iletilen çözeltinin viskoziteliği) sabit tutulmaya çalışıldığında, elektrospinning sisteminde oluşacak akım değerinin artışı genel olarak, kılcal uçtan topraklama yapılmış hedef durumundaki kütle akış hızındaki artma durumunu yansıtır. Liflerin eğirme işinde oluşan akım görüntülenerek elektroegirme yöntemiyle elde edilen liflerdeki boncuklanma hata yoğunluğu kontrol edilebilme düzeyindedir [Deitzel ve ark, 2001].

Yüksek konsantrasyonlarda oluşan lifler, lifleri bir araya tutturma yeri az olan, demet demet olan düz ve silindir yapıda bir morfoloji sıralanması göstermeleri; liflerin toplama ekranına ulaştıklarında genellikle sıvı özelliklerini kaybettiklerini yani kuru lifler olduklarının işaretidir [Deitzel ve ark, 2001].

4.3. InGaP/GaAs yarı iletkeninin yapısal özellikleri

AlGaAs / GaAs ve InGaP yarıiletkenleri son zamanlarda en çok ve en yaygın olarak çalışılan heteroeklemlili bir yapıdır. Bu heteroeklemlili yapının, moleküler ışın epitaksisi yöntemiyle yeterince büyütüldüğünde çok yüksek elektron mobiliteleri gösterdiği gözlenmiştir. Bu özelliği sayesinde elektronik sanayisi, elektronik araçların uygulanmasında ve temel araştırmalarda çok yarar sağlamaktadır.

AlGaAs / GaAs yüksek elektron mobiliteli transistörlerde , heteroeklemlili bipolar transistörlerde , modülasyon katkılı alan etkili transistörlerde ve mikrodalga özellikli elektronik aletlerde sıkça kullanılmaktadır. Tabii bunların yanında AlGaAs/GaAs yarıiletkeninde , AlGaAs kullanımından dolayı çevreye verdiği ve diğer şartlar gibi ortaya çıkan bazı dezavantajları da vardır.

Bu yüzden InGaP/GaAs yarıiletkeni, AlGaAs/GaAs yarı iletkenine alternatif bir yapı olarak ortaya çıkmıştır. AlGaAs ' ın dezavantajlarından bir tanesi de yapısında bulunan alüminyum elementidir. Çünkü alüminyum elementi ortamdaki nem ve oksijene duyarlı bir elementtir. Alüminyumun çevre şartlarından dolayı oksitlenmesi durumu söz konusudur. Eğer ki böyle bir

oksitleme olayı ortaya çıkarsa ara yüzey yapılarının hatta tüm yapının bozulmasına neden olmaktadır.

Moleküler ışın epitaksisi yöntemiyle büyütme yapılırken bu esnada ortamda bulunan nem ve oksijen bu heteroeklemlili yapı üzerinde yüksek direnç ve kötü optiksel sonuçlar ortaya çıkarır. Bu durum özellikle AlGaAs metal organik buharlaşma faz epitaksisi yöntemiyle büyütülürken çok daha önemli hale gelmektedir.

InGaP / GaAs yarıiletkeni geniş bir band aralığına sahiptir($E=1.9 \text{ eV}$, 300 K^0 ' de). Bu geniş band aralığı sayesinde görünür ışık bölgesindeki optiksel aletlerin uygulamalarından olan mikrodalga aletlerde, güneş pillerinde, kırmızı ışık yayan lazer diyotlarda kullanılır.

InGaP / GaAs yarıiletkeni heteroeklemlili yapıya sahiptir. Bu yapı geniş bant aralıklı NPN heteroeklemlili bipolar transistörlerde, modülasyon katkılı alan etkili transistörler gibi potansiyel uygulamalarda da AlGaAs/GaAs heteroeklemlili yapısına alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Özellikle heteroeklemlili valans bandı süreksizliğinin iletkenlik bandı süreksizliğinden daha büyük olması InGaP / GaAs yarıiletken yapısını uygulamalarda ilgi çekici kılmaktadır. Ayrıca InGaP / GaAs yarıiletken yapısının kapasitans, voltaj (C-V) profil metoduyla ölçüm yapılan band sırası, heteroeklemlili yapının heteroeklemlili bipolar transistörler için de çok uygun durumda olduğunu göstermektedir.

InGaP / GaAs yarıiletkeninin, AlGaAs/ GaAs yarıiletkenine göre bir çok avantajı bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi de düşük yüzey durumlarında yeniden birleşme (rekombinasyon) hızı göstermektedir. Düşük yüzey rekombinasyon hızı, cihazların düşük frekanslarında seslerin azalmasına neden olmaktadır ve gürültü ortamını engellemektedir. Bu durum, görünür ışık yayan cihazlarda ve yüksek elektron mobiliteli transistör gibi yüksek hız kapsamında yapılacak uygulamalarda InGaP/ GaAs yarıiletkenini ilgi çekici kılar.

AlGaAs/GaAs yarıiletkeni sürekli foto iletkenliği (PPC) sağlayan DX merkezleri olarak bilinen derin kusur seviyelerine sahiptir. Bu durumda alan etkili transistörlerde (FET) akım voltaj (I-V) eğrilerinde dengesizlik olduğu saptanmıştır. InGaP heteroeklemlili yapısında bulunan valley geçiş kısmının enerjisi, sürekli foto iletkenliği sağlayan DX merkezlerinin vallayin üzerine yerleşmesini sağlayacak kadar da büyük bir değere sahiptir. Böylelikle sürekli fotoiletkenlik (PPC) azalır yada tamamen kaybolur. Bu durum InGaP yarı iletkenini AlGaAs/GaAs heteroeklemlilerinde AlGaAs yerine uygun madde haline getirir.

4.3.1. InGaP/GaAs yarı iletkeninin Kristal yapısı

InGaP, çinko sülfür (ZnS) yapısında kristalleşme göstermektedir. Bu yapı birbirinde çeyrek cisim köşegeni uzunluğu kadar ötelenmiş iki fcc (yüzey merkezli kübik yapı) yapısı olarak düşünülebilir. Kübik çinko sülfür (ZnS) yapısının uzay örgüsü elmasın yapısına benzemektedir. Bu oluşan elmas yapı dörtlü bağ özelliği gösterir. Temelinde sekiz atom vardır. Her atomun en yakın komşu sayısı 4, ikinci en yakın komşu sayısı 12 dir. İlkel hücrenin örgü noktasını oluşturan baz, Zn ve S atomlarından oluşur. Bu oluşan fcc yapı örgülerinden birinde Zn (çinko) atomları diğerinde ise S (sülfür) atomları bulunmaktadır. Bazı oluşan Zn ve S atomlarının koordinatları (000) ve $(\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4})$ konumundadır. Bu yapıya ait birim hücre şekilde gösterilmiştir.

Saf bileşiklerin kristal yapıları tetrahedral ZnS yapısındadır ve alaşımlar tetrahedral ZnS yapısının özelliklerini gösterir. ZnS yapısında en yakın komşu uzaklığı $a\sqrt{\frac{3}{4}}$ kadardır. Örgüdeki her bir atom için arasındaki açı 109.5° olacak şekilde dört tane komşu atoma sahiptir. $Ga_xIn_{1-x}P$ yapısı, üç atomdan meydana gelmiştir. Bu yapının ZnS yapısına yerleşmiş hali şekil de verilmiştir. Burada temelinde bulunan sekiz atomdan dört tanesi mol yüzdesi x ve 1-x oranlarında olacak şekilde Ga ve In atomları tarafından paylaşılır. Geri kalan dört atom P atomudur.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

5.1. Giriş

Elektrospinning tekniği, düşük maliyeti ve boyut olarak birkaç mikrondan nanometreye ve geniş bir yüzey alanından hacim oranına kadar değişen nano elyafları üretme kabiliyeti nedeniyle büyük ilgi görmüştür [1,2,3,4]. Bu özellikler elektronik, optik, elektrik ve mekanik özelliklerini değiştirmeye yol açmaktadır [5,6]. Bu nedenle, elektrospinning tekniğiyle üretilen nano liflere, farklı sensörler, güneş hücreleri ve fotokatalitik cihazlar gibi birçok önemli uygulamada kullanılmak için büyük ilgi gösterilmiştir [5-13].

Üçlü alaşım InGaP, kafes GaA'larla eşleştiğinden beri tandem güneş pillerinin, lazerlerin, LED'lerin ve HEMT'lerin üretimi için çok sık kullanılır. Öte yandan, doğrudan bant aralığı 1.88 eV'dir ve oldukça yüksektir. Bu nedenle, iletkenliklerinde bir düşüşe neden olan hata merkezlerinden (DX) dolayı bazı avantajlar sergiler [10, 14,15]. InGaP / Si kavşakları çok kavşaklı hücrelerde ve LED'lerde tünel kavşağı için iyi bir adaydır [10-16].

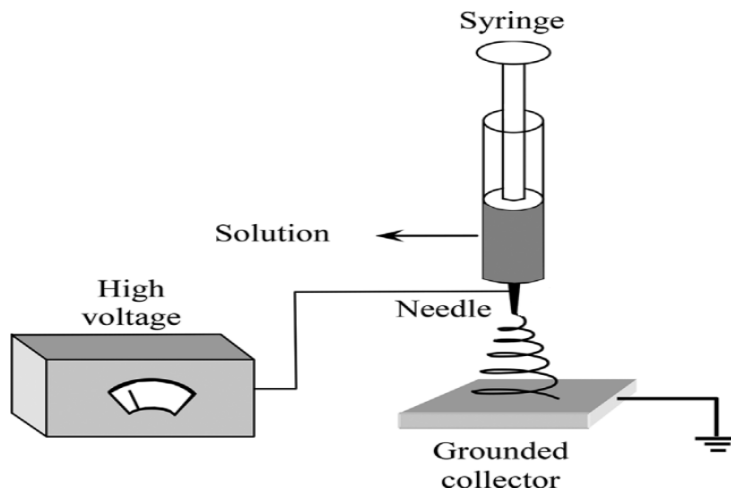
Bu çalışmada, elektrospinning tekniği kullanılarak n-Si üzerine biriktirilmiş InGaP nano liflerinin üç farklı kalınlıkta morfolojik ve yapısal özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, akım-gerilim (I-V) ölçümlerini yaptık ve InGaP / n-Si hetero eklem diyodunun elektriksel özelliklerini tartıştık.

5.2. Deneysel

Bu çalışmada, üç adet farklı madde 11.48 gr trimetilglilyum (TMGa) ve 15.99 gr trimetilinidyum (TMIn) gaz ve sıvı olan 18 gr tertiarybutilfosfin (TBP) kullanılarak bir Ga_{0,50}In_{0,50}P çözeltisi hazırladık. Bunu yapmak için ilk önce damıtma şişesine 15.99 gr trimetilinidyum (TMIn) koyduk ve sonra diğer şişeye bu iki şişeye bu şişeye enjekte ettik ve girişleri kapattık. Daha sonra, homojen bir çözelti elde etmek için manyetik karıştırıcı ile karıştırılarak bu malzemeleri 0.5 saat karıştırdık. 10 mL çözelti aldık ve kabı içine koyduk. Bundan sonra 1 ml

PVP'yi 10 ml etanolde çözdük. Daha sonra PVP ile hazırlanan çözelti içerisinde ilk 10 mL'lik çözelti, oda sıcaklığında 10 dakika boyunca manyetik karıştırıcı kullanılarak kuvvetlice karıştırıldı ve Ga_{0,50}In_{0,50}P nano fiberlerini üretmek için kullanacağımız çözelti elde edildi. Bu deneyde kullanılan elektrospinning cihazı, bir iğne (22 ayar), bir şırınga pompası (Üst Şırınga Pompası Top-5300), yüksek voltajlı bir güç kaynağı (Gama Yüksek Gerilim ES30) ve topraklanmış bir kolektör (alüminyum) ile donatılmış plastik bir şırıngadan oluşur. folyo ve 1-10 cm.cm direnç değeri olan bir n-tipi silikon gofret). İğne, yüksek voltajlı bir kaynağa bağlandı ve çözelti, bir şırınga pompası kullanılarak sabit bir şekilde 0.3 mL / s hızında beslendi. N-Si substratı, üretilen nano lifleri toplamak için iğnenin ucundan 6 cm altına topraklanmış bir kolektöre yerleştirildi (Şekil 1). Daha sonra nano elyaflar, 25 kV'luk bir elektrik alan uygulanarak imal edildi ve son olarak, elde edilen nano elyaflar, 500 ° C'de tavlandı.

Üretilen InGaP nano elyaflarının morfolojisi ve ortalama elyaf çapları, numunelerin SEM (Leo 1430 VP) görüntülerinden gözlenmiştir. Numunelerin, 40 kV ve 40 mA'da CuKa radyasyonu (X = 1.5418 Å) ile XRD (Bruker D8 Advance) tarafından kristal faz tanımlaması için XRD ölçümleri yapıldı. Elektrospun InGaP nano elyaflarının ısıl özellikleri, N₂ atmosferinde 20 ° C / dak. Isıtma oranında TG-DSC (Netzsch STA449F3) ile karakterize edildi. Akım-voltaj (I-V) ölçümleri karanlıkta Keithley 2400 kaynak metre kullanılarak yapıldı.

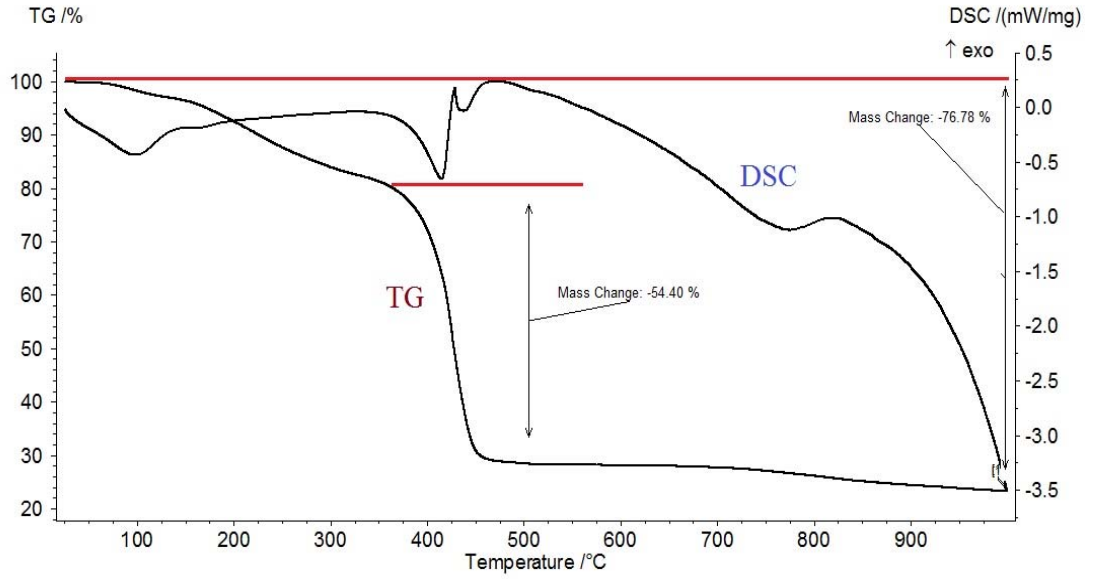


Şekil 5.1. Elektrospinning kurulumu.

5.3. Sonuçlar ve Tartışma

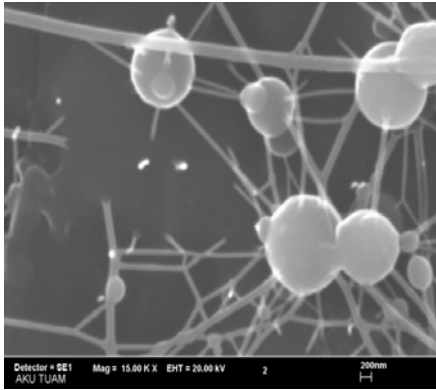
InGaP nano liflerinin kristalleşmesinin ve PVP ve uçucu solventlerin çıkarılmasının hangi sıcaklıklarda başladığını bilmek hayati önem taşır. Bu amaçla, kalsinasyon prosesi için optimal başlangıç sıcaklığını belirlemek amacıyla DSC / TG analizi kullanılmıştır. Karışımın elektropsun InGaP / PVP olarak ısıl davranışı Şekil 2'de gösterilmektedir. TG eğrileri iki farklı kilo kaybı aşaması gösterdi. Şekil 1'den görüldüğü gibi. Şekil 2'de DSC eğrisi, 95 ° C'de endotermik bir reaksiyon zirvesinin yapıdaki kalıntı suyun uzaklaştırılmasından kaynaklandığını göstermektedir [17]. Şekil 2'deki TG eğrisinden görülebileceği gibi, su tutma yaklaşık% 20 ağırlık kaybına neden olmuştur. PVP'nin termal ayrışması, atmosferik basınç altında havada 300 ° C'den yüksek bir sıcaklıkta başlar ve bu süre zarfında tüm PVP uzaklaştırılır. Bu, ekzotermik bir reaksiyonun bu sıcaklıkta literatürdeki gibi gerçekleştiğini göstermektedir. PVP'nin ayrılması, TG eğrisinde gösterildiği gibi yaklaşık% 54'lük bir ağırlık kaybına karşılık gelir (Şekil 2) [7,17,18].

450 ° C'den sonra, belirgin bir ağırlık kaybı gözlenmedi. Bu, ekzotermik bir reaksiyonun bu sıcaklıkta (450 ° C) literatürdeki gibi olduğunu gösterir [17,18]. İkinci en üst nokta, galyum, indiyum ve fosfor arasında bir reaksiyon olduğunu belirten ikinci ekzotermik reaksiyonu gösteren 500 ° C'de görünür [19]. Şekil 2'den görüldüğü gibi, TG eğrisi numunenin sıcaklıkla kilo kaybını gösterir ve DSC ölçümünden elde edilen sonuçları doğrular. Şekil 2'den görüldüğü gibi, ağırlık kaybı% 75'ten daha fazla bir aralıktadır. Isıl işlem sıcaklığı, ekzotermik reaksiyonun sonuna karşılık gelen 500 ° C olarak seçildi.

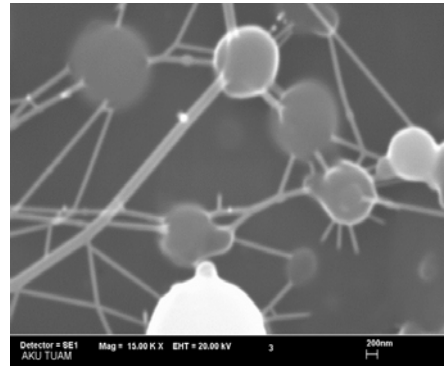


Şekil 5.2. InGaP nano liflerinin DTA / TGA analizi.

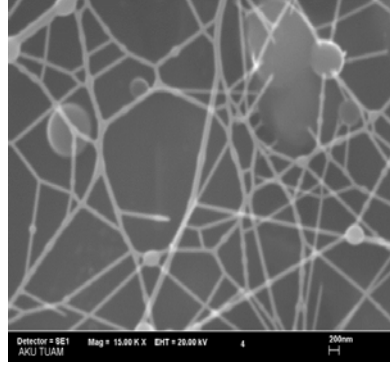
N-Si substratları üzerinde farklı işlem sürelerinde (10, 20 ve 25 dakika) oluşturulan InGaP nano liflerinin SEM görüntüleri Şekil 5.3'de verilmiştir. Sırasıyla 3a-b-c. Şekil 3a-b-c'den görülebileceği gibi, boncuk çaplarının homojenliği, işlem süresi arttıkça boncuk oluşumu ve çapları azaldıkça işlem süresi arttıkça artar.



(a)



(b)

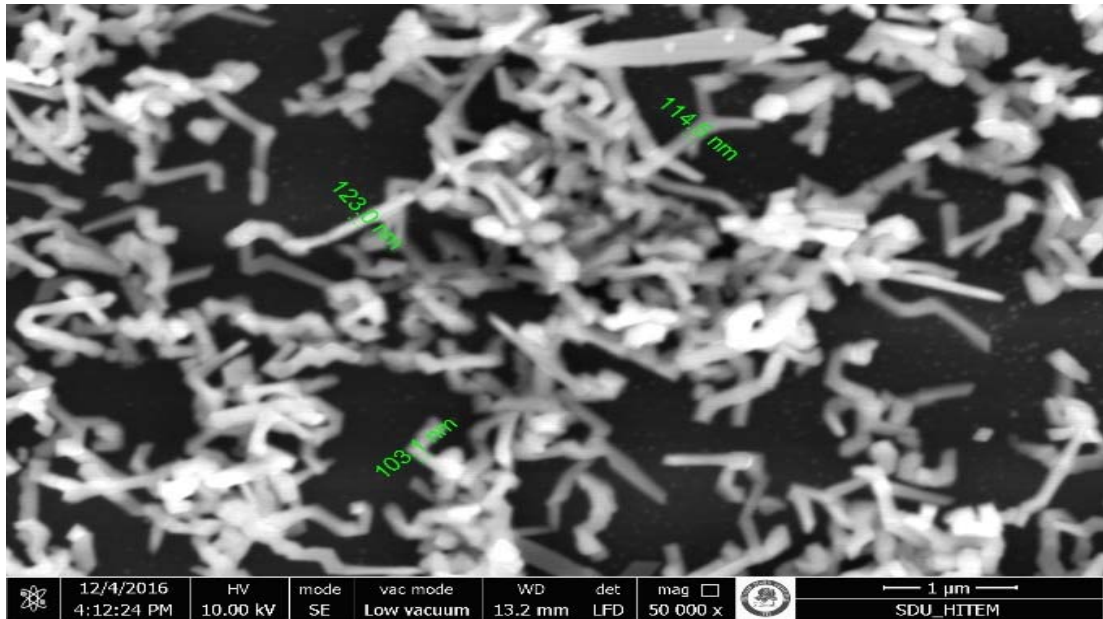


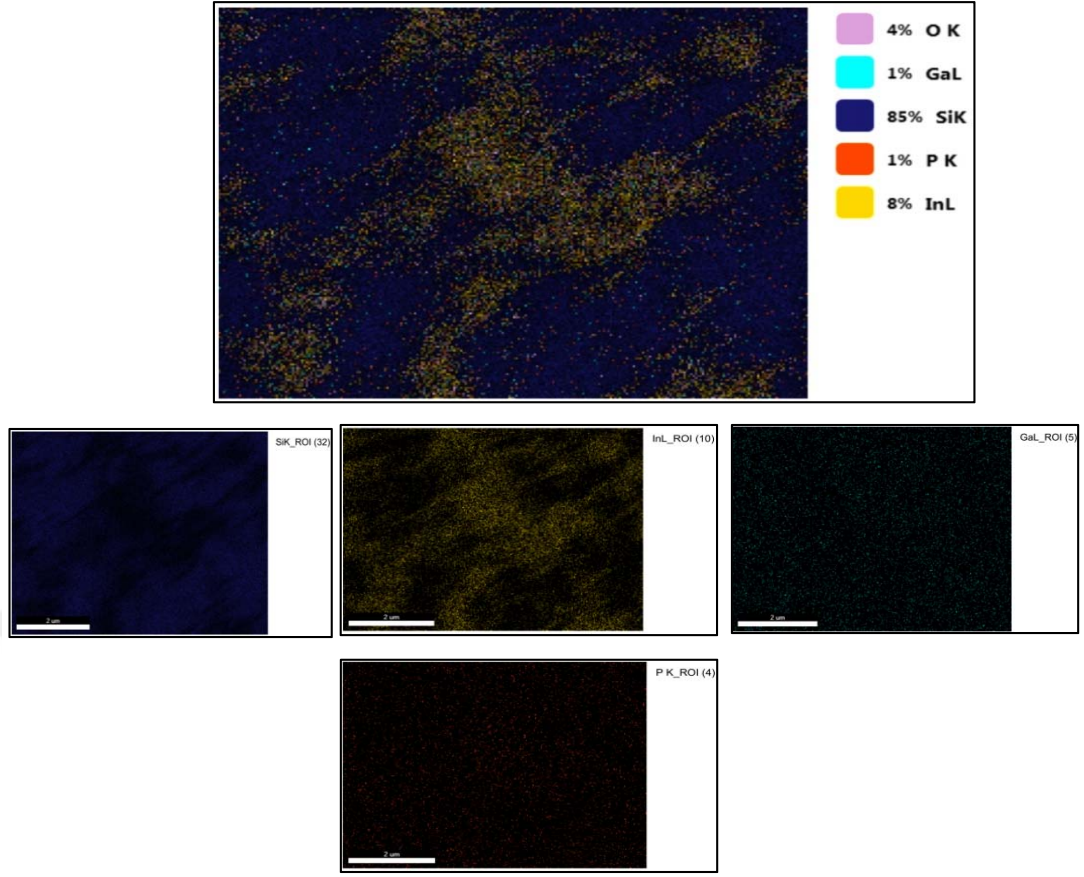
(c)

Şekil 5.3. SEM görüntüleri (a) desen, n-Si substrat üzerinde 10 dakika InGaP nano fiberleri topladı (b) desen, n-Si substrat (c) deseni üzerinde 20 dakika

InGaP nano fiberleri topladı, n-Si substrat üzerinde 25 dakika InGaP Nano fiberleri topladı.

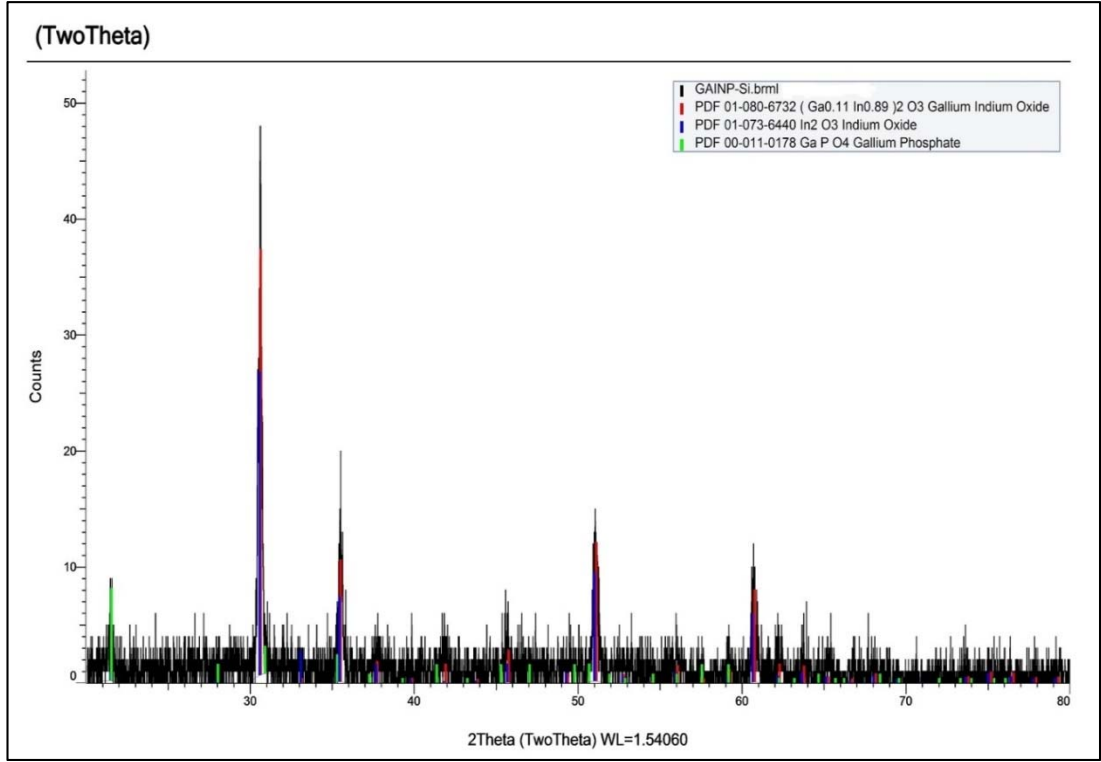
Şekil 5.4, InGaP nano liflerinin EDX analizini gösterir. Üretilen nano liflerin kimyasal bileşimi güvenilirdir. Karbon ve oksijen elementleri polimer çözücülerden, alüminyum element ise alüminyum kolektör plakasından kaynaklanır.





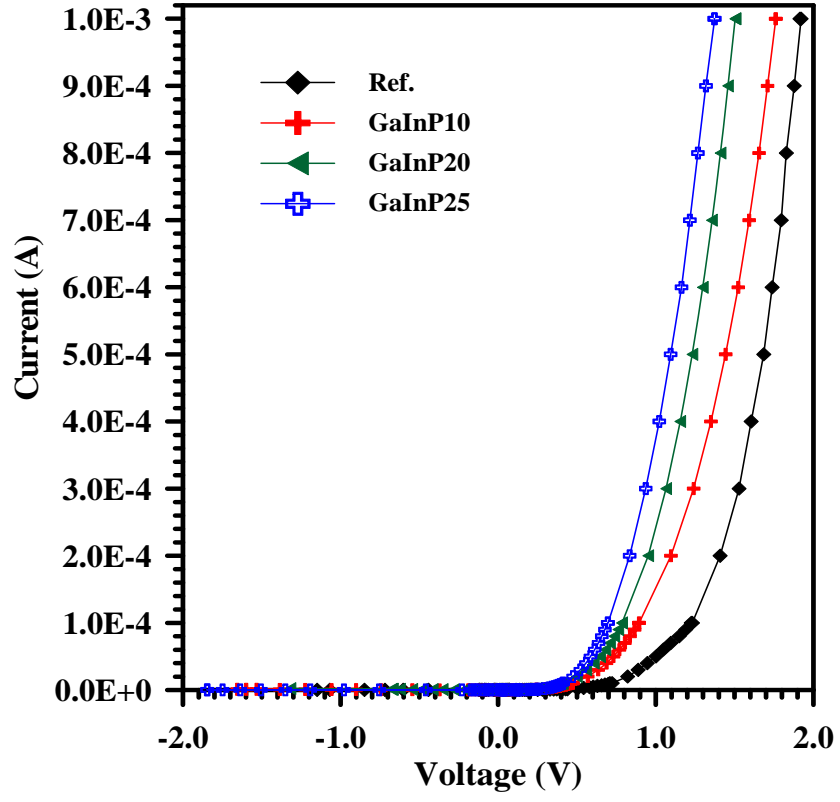
Şekil 5.4. n-Si gofreti üzerindeki InGaP nano liflerinin EDX haritalama analizi; a) InGaP nanofiberlerinin topografik görüntüsü b) Si, gofret üzerinde Ga, In ve P elementlerinin genel harita görüntüsü c) Her elementin ayrı haritalanması (Si, In, Ga ve P).

Ga, In ve P'nin varlığı, enerji dağıtıcı X-ışını (EDX) ile alınan temel haritalama ile Şekil 4'te gösterilmektedir. Şekil 4'te, galyum, indiyum ve fosfor varlığı nanofiber için ortaya çıkar. Şekil 5, saf (siyah) ve Galyum İndiyum Oksit (kırmızı), İndiyum Oksit (mavi) ve Galyum Fosfatın (yeşil) XRD desenlerini gösterir ve filmin polikristal olduğunu ve sonuçların literatürle iyi bir uyum içinde olduğunu öne sürer. [20-22].



Şekil 5.5. 500 ° C' de ısıtılan n-Si substratı üzerindeki InGaP nano liflerinin XRD deseni.

InGaP / n-Si hetero-yapılarının akım-gerilim (I-V) ölçümleri, Ag macunu teması ile oda sıcaklığında gerçekleştirildi. Şekil 6, nanofiberlerin substratlar üzerinde biriktirme süresinin bir fonksiyonu olarak InGaP / n-Si hetero-yapılarının I-V özelliklerini göstermektedir. InGaP10, InGaP20, InGaP25 etiketleri, sırasıyla 10, 20, 25 dakika boyunca biriken nanofiber filmleri temsil eder. "Ref." Etiket, InGaP nanofiber filmi olmayan n-Si üzerindeki Ag hamurunu temsil eder. Şekil 6'da görülebileceği gibi, InGaP / n-Si hetero-yapıları, rektifiye edici davranış sergiler ve eşik voltajı biriktirme süresine bağlı olarak değişir. Biriktirme süresi arttıkça, InGaP nanofiber filmlerin n-Si üzerindeki kalınlığı artar ve InGaP ince filminden dökme yapıya dönüşür. Bu nedenle, InGaP / n-Si heterostructures eşik voltajı, biriktirme süresi arttıkça düşer.



Şekil 5.6. InGaP / n-Si heteroyapılarının oda sıcaklığında I-V özellikleri.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

InGaP nano lifleri Si substratlar üzerinde elektrospinning yöntemi ile biriktirildi ve numuneler 500 ° C'de tavlandı. Morfoloji, yapısal, yüzey ve elektriksel özellikleri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir: 10 ve 20 dakikalık işlem sürelerinde nano liflerin morfolojileri benzer olsa da, 25 dakikalık işlem süresindeki nano lifler daha homojen ve daha az boncuklu hale gelmiştir. İşlem süresindeki artış, nanopore çaplarında düşüğe neden olur.

I-V ölçümleri, substratlar üzerinde oluşturulan nano fiberlerin kalınlığına bağlı olarak elektriksel özellikleri arasında bir fark olduğunu göstermiştir. Bu sonuç, tuzakların derinliklerinin küçüldüğünü göstermektedir. Bu, enerjileri daha küçük olan güneş spektrumundaki fotonların da serbest elektron üreteceği anlamına gelir. Bu nedenle fotovoltaik hücrelerde kullanıldığında bu sonuç çok önemlidir.



KAYNAKLAR

- [1] F.A. Sheikh, N.A.M. Barakat, M.A. Kanjwal, S.J. Park, H. Kim, H.Y. Kim, Gallium arsenide (GaAs) nanofibers by electrospinning technique as future energy server materials, *Fibers and Polymers* 11 (2010) 384–390. DOI: 10.1007/s12221-010-0384-2
- [2] S.T. Aruna, L.S. Balaji, S. Senthil Kumar, B. Shri Prakash, Electrospinning in solid oxide fuel cells – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 67, January 2017, Pages 673-682. DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.003
- [3] C. Ayranci, J.P. Carey, Electrospinning for braiding, *Handbook of Advances in Braided Composite Materials*, 2017, Pages 419-431.
- [4] Okan Karatay, Mustafa Doğan, Design and implementation of an electrospinning system, *Engineering of Nanobiomaterials, Applications of Nanobiomaterials Volume 2* 2016, Pages 359–396. DOI: 10.1016/B978-0-323-41532-3.00012-9
- [5] A.F. Lotus, S. Bhargava, E.T. Bender, E.A. Evans, R.D. Ramsier, D.H. Reneker, G.G. Chase, Electrospinning route for the fabrication of p-n junction using nanofiber yarns, *Journal of Applied Physics* 106 (2009) 14303. DOI: 10.1063/1.3157206
- [6] He J., The Smaller, the Better: From the Spider-Spinning to Bubble-Electrospinning, *Acta Physica Polonica A*, vol.121, 1, (2012) pp 254-256. DOI 10.12693/APhysPolA.121.254
- [7] A. Evcin, N.C. Bezir, R. Kayali, M. Ari, D.B. Kepekci, Indium phosphide nanofibers prepared by electrospinning method: Synthesis and characterization, *Crystal Research and Technology* 49 (2014) 303–308. DOI: 10.1002/crat.201300424
- [8] K. Fujihara, A. Kumar, R. Jose, S. Ramakrishna, S. Uchida, Spray deposition of electrospun TiO₂ nanorods for dye-sensitized solar cell, *Nanotechnology* 18 (2007) 1–6. DOI: 10.1088/0957-4484/18/36/365709
- [9] M. Li, G. Han, B. Yang, Fabrication of the catalytic electrodes for methanol oxidation on electrospinning-derived carbon fibrous mats, *Electrochemistry Communications* 10 (2008) 880–883. DOI: 10.1016/j.elecom.2008.04.002
- [10] C.C. Hu, C.S. Sheu, M.K. Lee, The fabrication of InGaP/Si light emitting diode by metalorganic chemical vapor deposition, *Materials Chemistry and Physics* 48 (1997) 17–20. DOI: 10.1016/S0254-0584(97)80070-3
- [11] Bunyatova U. Rzayev Z. Koçum İ. Şimşek M. Yürüksoy M., Fabrication and Characterization of AgNPs Incorporated PVA/ODA-MMT and PVP/ODA-MMT Nanofiber Structures by Green Electrospinning Nanotechnology as Excellent Conducting and Bioengineering Nanomaterial , *Acta Physica*

Polonica A , vol.129, 4, (2016) pp 431-435. DOI: 10.12693/APhysPolA.129.431

- [12] N. Çiçek Bezir, A. Evcin, R. Kayali, M. Kasıkçı Özen, K. Esen and E.B. Cambaz, Characteristic Properties of Dy-Eu-Ce Co-Doped ZrO₂ Nanofibers Fabricated via Electrospinning, *Acta Physica Polonica A* , Vol. 130 (2016) pages 300-303, DOI: 10.12693/APhysPolA.130.300
- [13] Atilla Evcin, Nalan Çiçek Bezir, Refik Kayalı, Murivet Kaşıkçı Özen and Ayşe Oktay, Characteristic Properties of Dy-Eu-Ag co-Doped TiO₂ Nanoparticles Prepared by Electrospinning Processes, *Acta Physica Polonica A* , Vol. 128 (2015) pp 303-306 DOI: 10.12693/APhysPolA.128.B-303
- [14] O. Martínez, V. Hortelano, V. Parra, J. Jimenez, T. Prutskij, C. Pelosi, InGaP layers grown on different GaAs surfaces for high efficiency solar cells, In *MRS Proceedings 1167* (2009) 1167-003.
- [15] Kozanecki A., Rare Earth Centres in Mixed Compound Crystals , *Acta Physica Polonica A*, vol.90, 1, (1996) pp73-82. DOI 10.12693/APhysPolA.90.73
- [16] J., Liang, M., Morimoto, S., Nishida, N., Shigekawa, Band structures of Si/InGaP heterojunctions by using surface-activated bonding, *Physica Status Solidi (c)* 10 (2013) 1644–1647. DOI: 10.1016/S0254-0584(97)80070-3
- [17] W. Feng, H. Tao, Y. Liu, Y. Liu, Structure and optical behavior of nanocomposite hybrid films of well monodispersed ZnO nanoparticles into poly (vinylpyrrolidone), *Journal of Materials Science and Technology-Shenyang-* 22 (2006) 230–234. DOI: 10.3321/j.issn:1005-0302.2006.02.018
- [18] Y. K. Du, P. Yang, Z. G. Mou, N. P. Hua, L. Jiang, Thermal decomposition behaviors of PVP coated on platinum nanoparticles, *Journal of Applied Polymer Science* 99 (2006) 23-26. DOI: 10.1002/app.21886
- [19] Z. Liu, Y. Bai, D. Cui, Q. Wang, Preliminary insight into the formation process of InP and GaP nanocrystals, *Solid State Sciences* 5 (2003) 1037–1040. DOI: 10.1016/S1293-2558(03)00119-5
- [20] C.E. Knapp, G. Hyett, I.P. Parkin, C. J. Carmalt, Aerosol-assisted chemical vapor deposition of transparent conductive gallium-indium-oxide films, *Chemistry of Material* 23 (2011) 1719–1726. DOI: 10.1021/cm102292b
- [21] O.M Berengue, A.D. Rodrigues, C.J. Dalmaschio, A.J.C. Lanfredi, E.R. Leite, A.J. Chiquito, Structural characterization of indium oxide nanostructures: a Raman analysis, *Journal of Physics D: Applied Physics* 43 (2010) 045401 (4pp). DOI:10.1088/0022-3727/43/4/045401

[22] H.W. Seo, S.Y. Bae, J. Park, H. Yang, S. Kim, Synthesis of gallium phosphide nanowires via sublimation method, Chemical Communications 21 (2002) 2564-2565. DOI: 10.1039/B207995J



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakan OKÇU



Doğum Yeri ve Yılı : Isparta, 1990

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : hakanokcu89@gmail.com

Eğitim Durumu

İlk ve Orta Okul : Nazmi Toker İlköğretim Okulu, 2004

Lise : Isparta Gazi Lisesi, 2008

Lisans : SDÜ, Fen Eebiyat Fakültesi, Fizik, 2012

Mesleki Deneyim

| | |
|-------------------------|-----------|
| Uğur Dershanesi | 2011-2012 |
| İlk Tercih Dershanesi | 2012-2013 |
| Büyük Başarı Dershanesi | 2013-2014 |
| Gülkent Anadolu Lisesi | 2013-2015 |
| Okutan Eğitim Kurumları | 2015-2016 |
| Final Eğitim Kurumları | 2016-2019 |

Yayımlar