

# AMORF SİLİKON P-İ-N GÜNEŞ PİLİNDE FOTOTAŞIYICI REKOMBİNASYON KİNETİĞİ

Alkan ALKAYA<sup>1</sup>, Ruhi KAPLAN<sup>2</sup>, Hüseyin CANBOLAT<sup>1</sup>, Bengü KAPLAN<sup>2</sup>, Caner Özdemir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Çiftlikköy 33343, Mersin

alkanalkaya@mersin.edu.tr, huseyinc@mersin.edu.tr, cozdemir@mersin.edu.tr

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi

Eğitim Fakültesi

Ortaöğretim Fen ve Matematik Alanlar Eğitimi Bölümü

Yenişehir kampüsü 33169, Mersin

rkaplan@mersin.edu.tr, bkaplan@mersin.edu.tr

**Özet:** PECVD yöntemiyle üretilmiş ince film hidrojenlenmiş amorf silikon (a-Si:H) güneş pili üzerinde bir dizi deney yapılmıştır. Bu deneylerde monokromatik ışık kaynağı olarak 10 mW çıkış gücünde HeNe lazer ve 50 W çıkış gücünde halojen lamba kullanılmıştır. Lazerden gelen ışık şiddeti nötral yoğunluk filtreleri (NDF) kullanılarak azaltılmıştır. Bu ışık kaynakları kırpıcı (chopper) yardımı ile 50 Hz ve 4 kHz arasında modüle edilerek güneş pili uyarılmıştır. Lock-in tekniği kullanılarak güneş pilinde fotoakımın kullanılan ışığın şiddetine, modülasyon frekansına ve dalgaboyuna bağlılığı değişik parametreler altında oda sıcaklığında ölçülmüştür. Sonuçlardan yararlanarak söz konusu pilin rekombinasyon kinetiği hakkında bilgi edinilmiştir.

## 1. Giriş

Elektrik enerjisinin insanoğlunun vazgeçilmez ihtiyaçlarından biri haline gelmesinden ve bu ihtiyacı karşılayan enerji kaynaklarının (petrol,kömür,doğalgaz, v.s...) yakın bir gelecekte tükenecek olmalarından dolayı bu enerji kaynaklarına alternatif olacak yeni kaynaklar üzerine yapılan çalışmalar yoğun bir şekilde artmıştır. Güneş enerjisi de bu kaynaklar arasında en doğal ve temel kaynaklardan birisidir.

Güneş pili olarak kullanılan silisyum kristalinde daha yüksek iletkenlik oluşturmak için kristalin saf olması gerekmektedir. Kristalin bu denli saf elde edilmesi ise yüksek maliyetli olmaktadır. Bu yüzden yeni yarı iletkenler üzerinde çalışmalar daha düşük maliyetli güneş pili üretmek için yoğunlaşmıştır. Bunun için GDD (Glow Discharge Decomposition) diğer bir adıyla PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) tekniği [1] kullanılarak amorf yapıdaki güneş pilleri üretilmiştir. Amorf yarıiletkenlerin kristal yapılara göre en büyük avantajı geniş yüzeyli ince filmlerin kolayca üretilebilmesidir ve maliyetlerinin düşük olmasıdır. Güneş ışınlarının toplanabilmesi için geniş yüzeyli güneş pillerine ihtiyaç duyulduğu düşünülürse amorf malzemelerin ne denli önemli olduğu ortaya çıkacaktır.

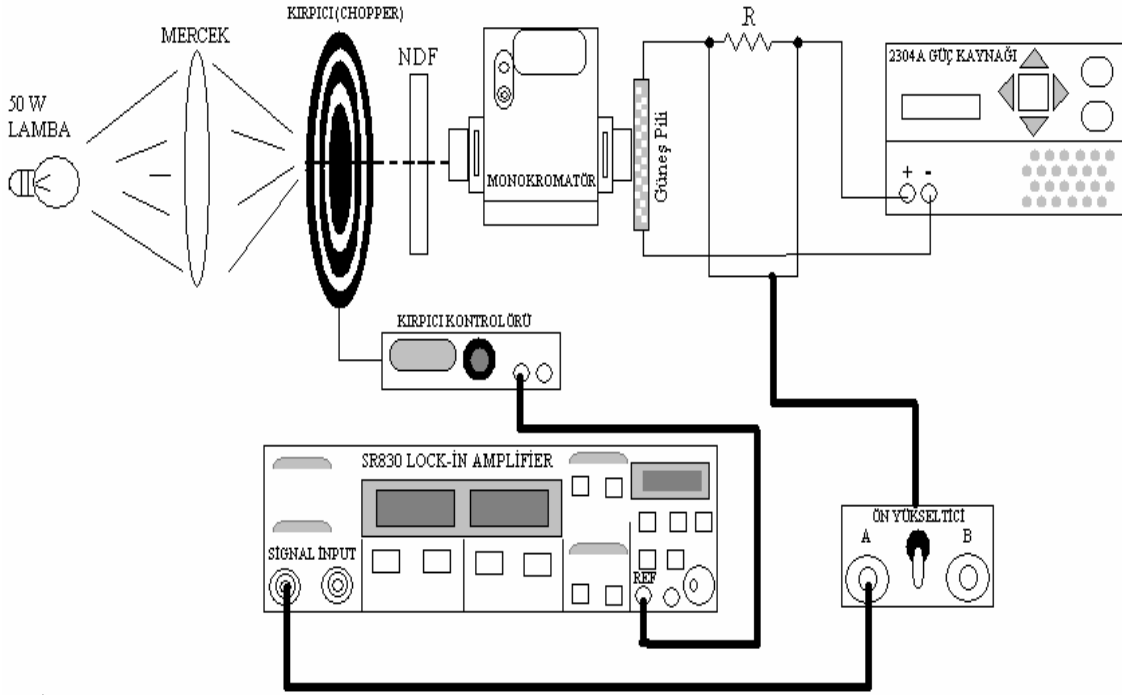
Kristal yapıdan farklı olarak, amorf yarıiletkenlerin atomları arasında kısa mesafelerde bir düzenlilik olsa bile uzun mesafelerde düzensizlik (disorder) hakimdir. Bu nedenle iyi bilinen bir çok model [2] amorf yarıiletkenlerin elektronik bant yapısını açıklamada yetersiz kalmaktadır. Amorf yarıiletkenler için farklı enerji bant modelleri amaçlanarak bu tür yarıiletkenlerin elektriksel iletkenlikleri ve optik özellikleri açıklanmaya çalışılmıştır. Anderson teorisine dayanan tüm bu modeller enerji bant uçlarındaki (band tails) lokalize enerji seviyelerini dikkate alır [3]. Yapılarındaki düzensizliklerden dolayı, amorf yarı iletkenlerin elektronik yapısı hala tam olarak anlaşılammıştır ve araştırmalara açıktır.

Biz bu çalışmada a-Si:H p-i-n güneş pilinde d.c ve modüle edilmiş fotoakım ölçümleri gerçekleştirdik. Özellikle karanlık ve ışık altında I-V karakteristik eğrilerini, fotoakımın kullanılan ışığın şiddetine, dalga boyuna ve modülasyon frekansına bağlılığını inceledik. Sonuçlardan kullanılan güneş pilinin verimi ve verimi etkileyen önemli parametrelerden biri olan rekombinasyon kinetiği hakkında bilgi edindik.

## 2. Deneysel Yöntem

Deneysel olarak kullanılan a-Si:H p-i-n güneş pili Delaware Üniversitesi'nden (Institute of Energy Conversion), elde edilmiştir. Bilinen standart PECVD metoduyla üretilmiştir. Pili katman yapısı **cam/ZnO/p-i-n/Ag** şeklindedir. Güneş pillinin yüzey alanı  $0.4 \text{ cm}^2$  ve i-tabakasının kalınlığı  $0.5-0.6 \mu\text{m}$  arasındadır.

Deneysel olarak kullanılan deney düzeneği komple olarak Şekil 1 de gösterilmiştir. Ölçülecek niceliğe göre bazı üniteler çıkartılmış veya eklenmiştir.

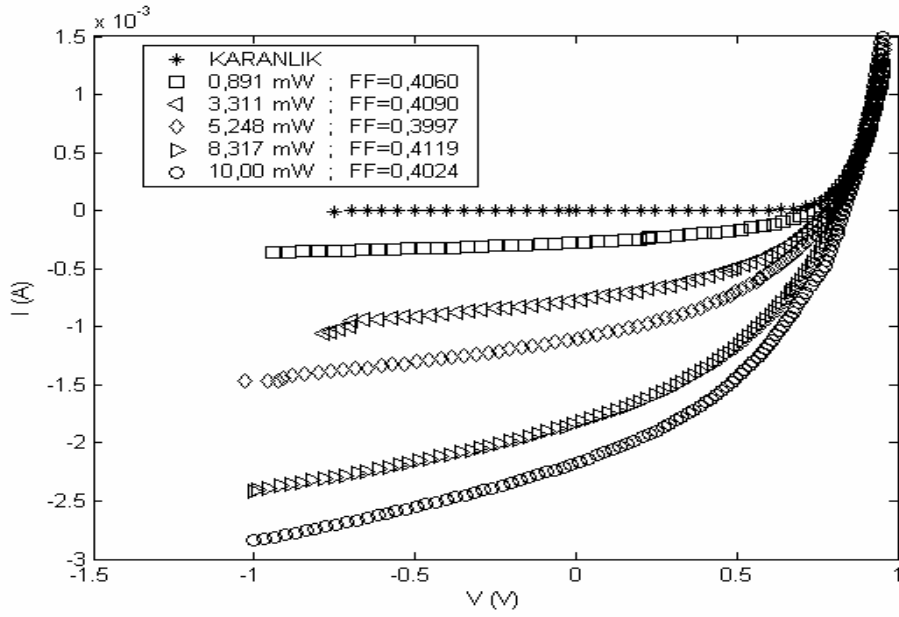


Şekil 1. Kullanılan deney düzeneği (komple).

Şekilden de anlaşılacağı üzere, halojen lambadan çıkan ışık mercek ile odaklanarak çöpür (chopper) ve nötr yoğunluk filtrelerinden geçirilerek monokromatör yarığı (slit) üzerine düşürülür. Monokromatörün çıkış yarığından çıkan tek renkli ışık güneş pili üzerine düşürülür. Oluşan fotoakım sinyali ön-yükseltici ve lock-in yükseltici ile dedekte edilerek analiz edilir. İleri ve ters beslem için güneş piline bir d.c güç kaynağı bağlanmıştır. Bilindiği gibi lock-in amplifikatör (yükseltici), sağlanan referans sinyale kilitlenmekte ve sinyal kaynağından olan frekans değişimlerini otomatik olarak takip edebilmektedir. Böylelikle gürültü sinyallerini bertaraf ederek referans alınan sinyali yükseltmektedir.

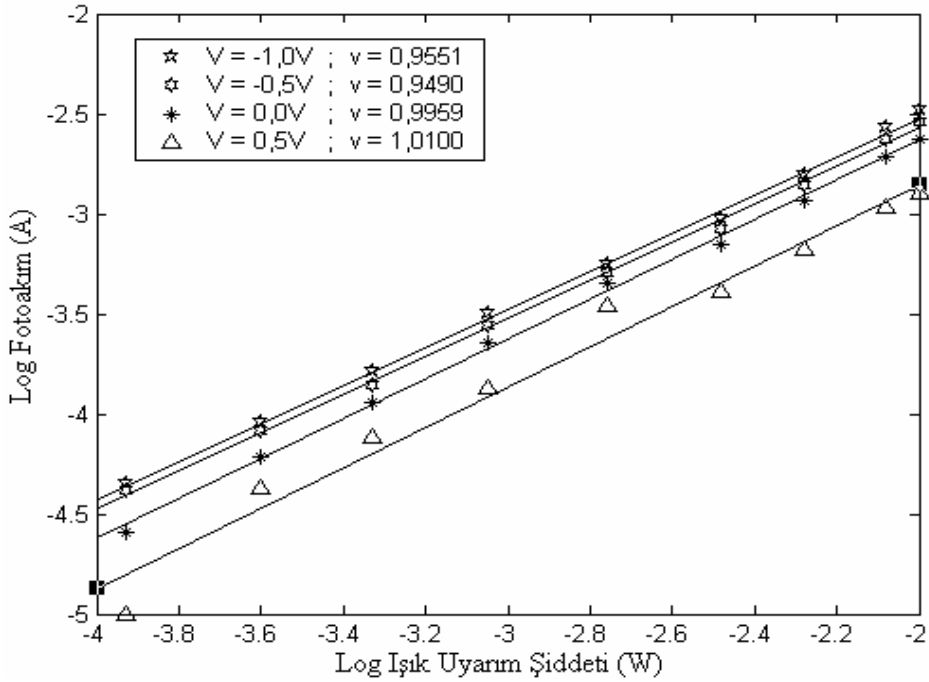
## 3. Sonuçlar

Şekil 2, kullanılan güneş pilinin karanlık ve aydınlık altında alınmış I-V karakteristiklerini değişik ışık şiddetleri ( $632.8 \text{ nm}$ ) altında göstermektedir. Grafikteki IV. bölgeden yararlanarak güneş pilinin doluluk faktörleri FF (Fill factor) her bir ışık şiddeti için hesaplanmış ve grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, ışık şiddeti artarken karakteristik eğriler negatif beslem bölgesinde aşağıya doğru kaymaktadır. İleri ve ters beslem bölgesindeki eğrilere çizilen teğetlerin eğimlerinden sırasıyla seri direnç için  $70 \Omega$ , paralel direnç için  $445 \text{ k}\Omega$  bulunmuştur. Şekilden FF değeri ortalama  $0,406$  hesaplanmıştır. Bu değer ışık şiddeti ile fazla değişim göstermemektedir.



Şekil 2. Karanlık ve değişik ışık şiddetleri altında alınmış I-V (d.c.) karakteristik eğrileri.

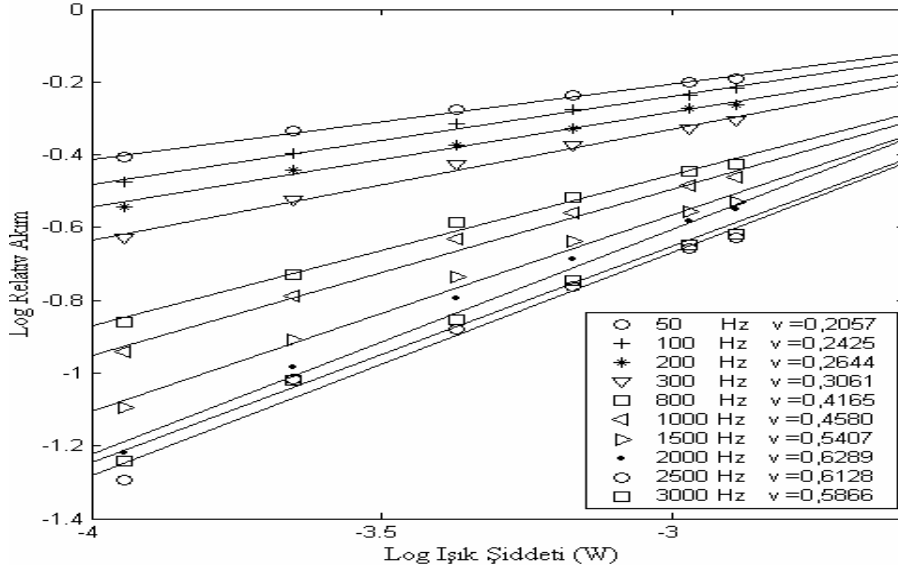
Şekil 3 de fotoakımın uyarıcı ışığın şiddetine bağlılığı farklı beslem voltajları için gösterilmiştir. Fotoakımla elektron-hol üretme hızı arasındaki bağıntı  $I_{ph} \propto G^v$  güç yasası ile verilir [4].



Şekil 3. Fotoakımın (d.c) değişik besleme voltajları altında uyarıcı ışık şiddetine bağlılığı.

Şekil 4 de ise fotoakımın uyarıcı ışığın şiddetine bağlılığı değişik modülasyon frekansları altında gösterilmiştir.  $v$  üstel terimi,  $G$ 'nin ışık şiddeti ile doğru orantılı olduğu göz önünde bulundurularak fotoakımın logaritmasının ışık şiddetinin logaritmasına olan grafiğinin doğrusallığının eğimiyle ilişkilendirilebilir.  $v=1$  olduğu durumlarda monomoleküler rekombinasyon,  $v=0,5$  olduğunda bimoleküler rekombinasyon,  $0,5 < v < 1$  olduğunda ise fotoakımı kontrol eden fototayıyıcılar enerji aralığındaki lokalize olmuş seviyelerde tuzaklanma veya

rekombinasyon merkezleri olarak hareket ederler. Bu aralıkta durum karmaşıktır ve fototaşıyıcıların ömür süresi (lifetime) ışık şiddeti ile doğru orantılı olan elektron-hol üretme hızı  $G$  ile değişim gösterir. Bunun haricinde  $v$  değeri 0.5 den küçük veya 1.0 dan büyük değerler alabilir [5-7].

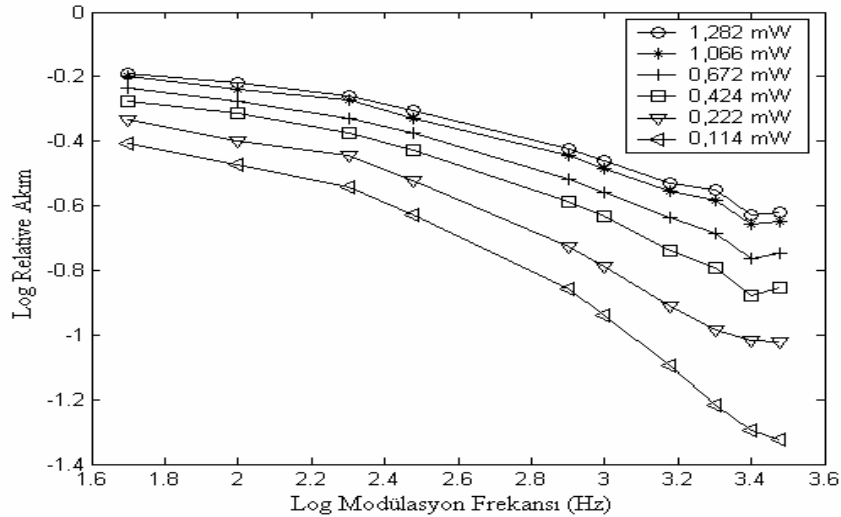


Şekil 4. Fotoakımın değişik modülasyon frekanslarında ışık şiddetine bağlılığı.

Şekil 3 den anlaşılacağı üzere  $v$  değeri  $\sim 1$  e yakın olup monomoleküler rekombinasyon bizim güneş pilimizde dominant bir prosestir ve bu farklı beslem voltajları için değişim göstermemektedir. Yani, ışıkla üretilen fototaşıyıcıların hemen hemen hepsi uygulanan beslem voltajı veya elektrik alan altında fotoakım üretmek için devreye sürülmektedir.

Şekil 4 de elde edilen değerlere göre  $v$  değeri uygulanan ışığın modülasyon frekansına göre değişim göstermektedir. Yani, frekans artarken üstel terimin değeri de artmaktadır. Bunun nedeni daha dip enerji seviyelerinde (tuzaklar) titreşim yapan fototaşıyıcıların devreye sürülerek fotoakıma katkıda bulunması olabilir.

Şekil 5 de fotoakımın modülasyon frekansına bağlılığı doğrudan farklı ışık şiddetleri için gösterilmiştir.

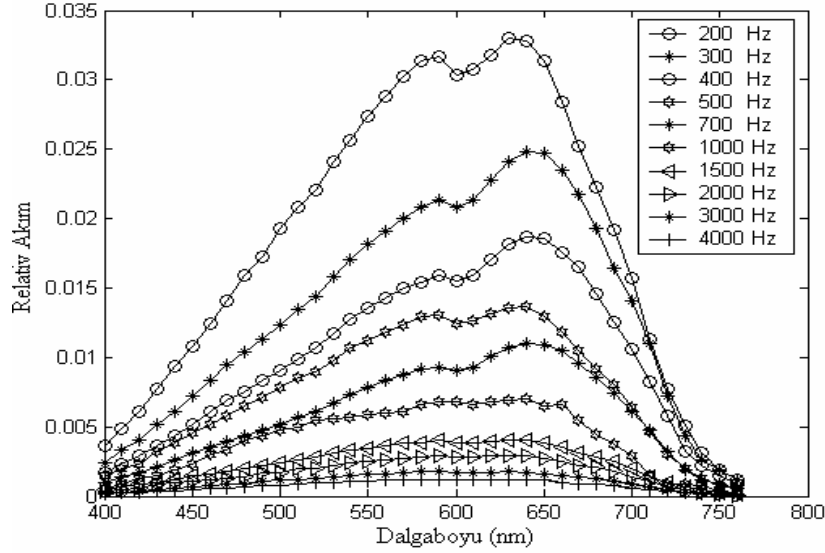


Şekil 5. Fotoakımın değişik ışık şiddetleri altında frekansa bağlılığı.

Şekil 5' te ışık şiddeti azaldıkça beklenildiği gibi bağıl akım da azalmaktadır. Aynı zamanda modülasyon frekansı arttıkça fotoakımın da azaldığı gözlenmektedir. Bunun nedeni, yüksek frekanslarda daha az ışık

soğurmasının gerçekleştiği ve dolayısı ile yüksek frekanslarda titreşim yapan fototaşıyıcı çiftlerinin (elektron-hol) devreye sürülerek fotoakıma yeterince katkıda bulunamaması olabilir.

Şekil 6, fotoakımın spektral dağılımını farklı modülasyon frekanslarında göstermektedir.



Şekil 6. Fotoakımın farklı modülasyon frekanslarına göre spektral dağılımı.

Şekil 6 dan görüldüğü gibi fotoakımın spektral dağılımı geniş bir spektrum vermektedir. Dağılım yaklaşık 590 nm ve 640 nm de iki tepe (maksimum) değere sahiptir ve bu maksimumlar frekandan bağımsızdır. Beklenildiği gibi fotoakımın genliği frekans arttıkça azalmaktadır. Ancak iki tepe değerinin varlığı, fotoakımı kontrol eden iki farklı rekombinasyon merkezinin fotoakım mekanizmasını kontrol ettiği anlaşılmaktadır.

## Sonuç

Bu çalışmada PECVD yöntemiyle üretilmiş a-Si:H p-i-n güneş pillerinde fotoakımın uyarıcı ışığın şiddetine, modülasyon frekansına ve dalga boyuna bağlılığı oda sıcaklığında ölçülmüştür. Ayrıca I-V karakteristik eğrileri yine oda sıcaklığında karanlık ve değişik ışık şiddetleri altında elde edilmiştir. Sonuçlardan, güneş pillerindeki fotoakımı kontrol eden rekombinasyon merkezlerinin kinetiği hakkında bilgi edinilmiştir. Oda sıcaklığında monomoleküler rekombinasyonun dominant olduğu, ve bunun beslem voltajından hemen hemen bağımsız olduğu, ancak modülasyon frekansına kuvvetli bağlılık gösterdiği bulunmuştur.

## Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK: TBAG – 2212 (102T091) nolu projesi içinde gerçekleştirilmiştir. Güneş pillerini bize sağlayan Delaware Üniversitesi IEC Enstitüsü'ne ve Dr. S.S. Hegedus'a çok teşekkür ederiz .

## Kaynaklar

- [1]. Ruud E.I. Schropp, M.Zeman, "Amorphous and Microcrystalline Silicon Solar Cells: Modeling, Materials and Device Technology", Kluwer Akademik Yayınevi, Boston 1998.
- [2]. Eliot R.S., Physics of Amorphous Materials, Longman, 1990.
- [3]. Brodsky H.M., Amorphous Semiconductors, Berlin, 1985.
- [4]. A. Rose, "Concepts in Photoconductivity and Allied Problems", Krieger, New York, 1978.
- [5] R. H. Bube, J. Appl. Phys., 74 (1993) 5133.
- [6] M. Hack, S. Guha, M. Shur, Phys. Rev. B 30 (1984) 6991.
- [7] E. Morgado, J. Non-Cryst. Solids 166 (1993) 627.