

Termo/Fotovoltaik Güç Jeneratörleri Gelişimi İçin Yakın-Alan Işınımli Isı Transferi Araştırması

Proje No: 109M170

Prof. Dr. M. Pınar Mengüç

Nisan 2013
ISTANBUL

ÖNSÖZ:

Bu Projenin ana amacı yakın-alan ışınımla ısı transferi kavramlarını hem deneysel hem de teorik olarak bir üst seviyeye çıkartmaktır. Işınımla ısı transferi tüm boyut skalalarında Planck Kanunu takip ettiği halde, dalga boyu veya daha düşük boyutlarda evanesent dalgalarla çok daha yüksek bir seviye ye ulaşmakta. Bu yakın alan ilişkileri nano-boyut cihazların üretilebilmesi ile daha etkin olarak kullanılabilmekte. Bu kavram hem nano-termofotovoltaik (N-TPV) enerji hadaslama (energy harvesting with nano-thermophotovoltaic devices) hem de nano-boyutda atom gücü mikroskopi ile işleme (NM-AFM) (machining at nanoscales using atomic force microscopy) için kullanılabilir. Bu çalışma boyunca iki alanın ortak kesiti olan yakın-alan ısı transferi kavramları çalışılmış olup, her iki konuya da etkin katkılarda bulunulmuştur. N-TPV konusunda çalışmalar hem deneysel hem teorik yapılmış olup, bir bildiri ve iki yüksek lisan tezi tamamlanmıştır. NM-AFM konusunda ise iki bildiri yayınlanmıştır. Ayrıca bu proje 13 davetli konuşmada da anlatılmıştır.

Bu proje, TUBITAK tarafından desteklenmiş, (109M170), ve Prof. M. Pınar Mengüç'ün Özyeğin Üniversitesi'ne 2009 da katılmasından sonra 2009 Kasım ayında başlatılmış ve biraz gecikmeyle 2012 Ağustos ayında tamamlanmıştır. Bu proje için başlangıçta bir doktora sonrası öğrenci ve bir de yüksek lisans öğrencisi talep edilmiştir. Kabul edilen doktora sonrası öğrencisi Avustralya Queensland University of Technology'den aramıza katılan Dr. Vincent Loke olmuştur. Dr. Loke programa katıldıktan sonra TUBITAK bursundan yaş nedeniyle faydalanamayacağı öğrenilmiş, ve onun bursunun diğer kaynaklardan (FP-7 Marie Curie IRG) elde edilmiştir. Yüksek Lisans öğrencisi olarak da Amerikalı Kurt D. Webb başvurmuş, ve projeye kabul edilmiştir. ÖzU Makina Mühendisliği Yüksek Lisans programı YÖK tarafından tahminen bir sene sonra, 2011 de açıldığı için Kurt Webb'in MS derecesi için Boğaziçi Üniversitesine başvurması kararlaştırılmış, ve BÜ Makina Mühendisliği Bölümünden Dr. Hakan Ertürk'ün eş-danışman olması uygun bulunmuştur. Öte yandan, Vincent Loke yerine, ODTÜ'den Zafer Artvin projeye yüksek lisans öğrencisi olarak kabul edilmiş, ve ODTÜ Makina Mühendisliği öğretim üyesi Dr. Tuba Okutucu ile birlikte eş-danışmanlık sürdürülmüştür.

İÇİNDEKİLER:

| | |
|---|----|
| - ÖZET – ABSTRACT | 1 |
| - PROJE ANA METNİ..... | 2 |
| - BİRİNCİ KISIM: Yakın Alan Bazlı İşleme Yöntemleri (NM-APM)..... | 3 |
| - İKİNCİ KISIM: Yakın Alan Bazlı Enerji Hadaslama Yöntemleri (N-TPV)..... | 4 |
| - Deneysel Sistem ve Ölçme (Kurt Webb Tezi özeti)..... | 4 |
| Amaç..... | 4 |
| Sıcaklık Ölçümü..... | 6 |
| Isı Kaynağı..... | 7 |
| Örnek Soğutucu..... | 7 |
| Isı akışı ölçümleri..... | 7 |
| Ölçüm Sonuçları ve Analizler..... | 7 |
| - Örnek Hazırlama çalışmaları (Zafer Artvin Tezi)..... | 11 |
| Amaç..... | 11 |
| Tasarım ve Uygulama..... | 11 |
| Üretim Aşamaları..... | 12 |
| a) Maske Hazırlama..... | 12 |
| b) Silisyum Pulun Delinmesi (ICP)..... | 12 |
| c) SiO ₂ Kaplama (PECVD)..... | 12 |
| d) Maskeleme ve Aşındırma..... | 13 |
| e) İkinci SiO ₂ Kaplama..... | 14 |
| f) Silisyum Wafer Birleştirme (Fusion Bonding)..... | 14 |
| g) Silisyum Pul kesme (Dicing)..... | 15 |
| - SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 15 |
| - REFERANSLAR..... | 16 |
| - EKLER..... | 17 |
| - PROJE ÖZET BİLGİ FORMU..... | 18 |
| - ARDEB BAŞARI ÖYKÜSÜ (<i>Doldurulmadı</i>)..... | 21 |

TABLO LİSTESİ:

- Tablo 1. Üretilen test örneklerinin boyutları.

ŞEKİL LİSTESİ:

- Şekil 1. Model geometrisi (Loke, Mengüç, 2010)
- Şekil 2. Silikon üzerindeki 20 nm lik altın parçacığa yaklaştırılan AFM uç'un etrafındaki alan yoğunluğu. (Loke, Mengüç, Nieminen, 2011)
- Şekil 3. Deney düzeneği
- Şekil 4. Örnek ve test düzeneği dizaynı.
- Şekil 5. seçenek 2
- Şekil 6. Seçenek 3 örnek tasarımı
- Şekil 7. Nextreme UPF4 Optocooler™
- Şekil 8. Deney geometrisi
- Şekil 9. Ölçülen ve hesaplanan toplam ve ışınım ile ısı transferi miktarlarının plakalar arası mesafeye bağlı değişimi.
- Şekil 10. Toplam ısı aktarımı ile sıcaklık farkı grafiği (d=100nm)
- Şekil 11. Toplam ısı aktarımı ile sıcaklık farkı grafiği (d=200nm)
- Şekil 12. Toplam ısı aktarımı ile sıcaklık farkı grafiği (d=100nm) 3 µm duvar kalınlığı
- Şekil 13. Toplam ısı aktarımı ile sıcaklık farkı grafiği (d=100nm) 2µm duvar kalınlığında
- Şekil 14. Ölçüm sonuçları-hesaplanan değerler
- Şekil 15. Isı transferinde iletimi ölçümünde kullanılacak test silisyum pulları
- Şekil 16. Farklı test çip geometrileri. D: Duvar kalınlığı (SiO₂), w: Örnek genişliği ve boyu
- Şekil 17. Silisyum pul a) üstten görünüm ve kesit b) PECVD yöntemi ile kaplama
- Şekil 18. Photoresist kaplanmış silisyum pul
- Şekil 19. UV ışık ve maske kullanılarak belirlenen bölge aseton kullanılarak aşındırılır.
- Şekil 20. Photoresist olmayan bölgeler BHF ile aşındırıldı.
- Şekil 21: SiO₂ Kaplı orta alan

ÖZET:

Bu projenin amacı yakın-alan ışınım ile ısı transferi kavramlarını hem deneysel hem de teorik olarak çalışmaktır. Işınım ile ısı transferi tüm boyut skalalarında Planck kanununu takip ettiği halde, dalga boyu veya daha düşük boyutlarda evanesent dalgalarla çok daha yüksek bir seviyeye ulaşır. Bu ışınım ile yakın alan ilişkileri kullanılarak nano-boyut cihazların üretilmesi ile daha etkin tasarlanabilecektir. Bu kavram hem nano-termofotovoltaik enerji hadaslama hem de nano-boyutta atom gücü mikroskopi ile işleme için irdelenmiştir.

Nano-işleme kavramlarına yardım etmesi için yeni bir program geliştirilmiş ve Matlab Toolbox olarak sunulmuştur. Bu sayısal model bir dizi çalışmaya uygulanmıştır. Nano-enerji hadaslama uygulamalarına yönelik temel çalışmalar için de bir deney sistemi kurulmuştur. Bu deney sisteminde kullanılmak üzere değişik örneklerde nanoteknoloji yöntemleriyle oluşturulmuş, ve deney sisteminde kullanılmıştır. Yapılan deneyler ışınım ile ısı transferindeki artışı göstermiştir. Bu temel çalışmaların devamı uzun vadede hem nano-boyut işlemlerin kurgulanmasına hem de nano-boyut termofotovoltaik hücrelerin tasarımına yardım edecektir.

Anahtar Kelimeler: Yakın alan ışınım ile ısı transferi; nano-işleme; nano-termofotovoltaik hücreler

ABSTRACT

The objective of this project is to study the fundamentals of near field radiative transfer both experimentally and numerically. Although radiation transfer follows the Planck law at all scales, once the gap distance falls below the length of the wavelength, radiation transfer is significantly enhanced. Using this concept, innovative devices can be designed to operate at nanoscales. We show that near-field effects can be used for both nano-machining and nano-thermophotovoltaic cells.

We have developed a simulation tool to model nano-machining using an atomic force microscopy tip. In addition we have established an experimental system to measure near field radiative transfer. For this we have prepared a number of different samples which were used in the experimental system. Continuation of these fundamental studies will help to establish nano-machining concepts (NM-AFM) and allow us to design and build better nano-thermophotovoltaic cells (N-TPV).

Key-words: Near field radiative transfer, nano-machining, nano-thermophotovoltaic cells

PROJE ANA METNİ:

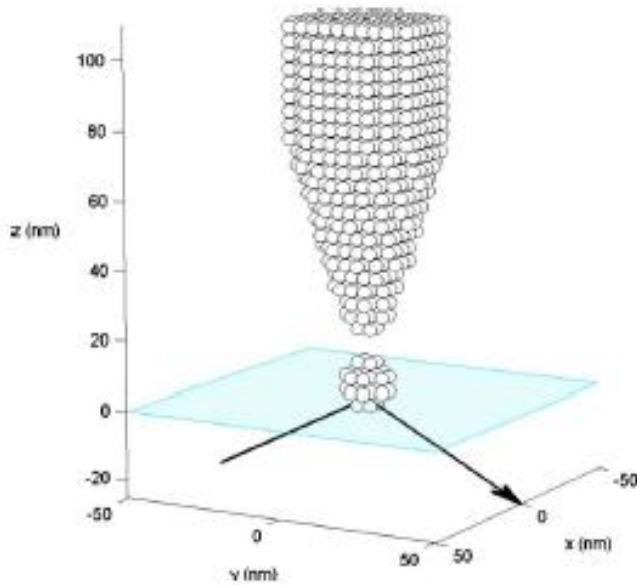
Bu Proje deki ana amacımız yakın alan ışınım ile ısı transferinin uygulamalarına ağırlık verebilmek için hem temel çalışmalar yapabilmek hem de bunların uygulanabilirliğini gösterebilmektir. Esas olarak ışınım ile ısı transferi Maxwell denklemleri ile anlatılabilir. Işığın ve ısı ışınımının (thermal radiation) yayınlanması, saçılması, yansıtılması, kırılması ve soğurulması bu denklemlerin çözümü ile sağlanır. Öte yandan, ışınımın emisyonu Planck kanunu ile ifade edilebilir. İki yüzey birbirine çok yaklaşırsa, ve aralarındaki boşluk dalga boyu veya altına düşerse Planck kanunu ile tahmin edilen emisyonunun çok üstüne çıkan değerler elde edilebilir (Howell, Siegel, Mengüç, 2010, Chap. 16). Bu ilginç artış tamamen yakın alan evanesent dalgaların uzak alan iletimi ile birleşmesinden dolayıdır. Bu kavramın anlaşılması ise sadece son 6-7 yılda gerçekleşmiştir. (Prof. Mengüç bu konunun öncülerinden birisidir ve bu konuda 2007 den beri yayınlar yapmıştır. Bu yayınlar ve diğer araştırmacıların yayınları bu rapora eklenen makale ve tezlerde çok detaylı verildiği için, burada tekrarlanmamıştır).

Bu çalışma iki ana dalda götürülmüştür. Bir tanesinde yakın alan ilişkileri kullanılarak işleme (machining) yöntemleri irdelenmiştir. Bunun uygulaması uzun zamanda atom gücü mikroskop ile birleştirilmesi nano-boyut işleme sistemleri için şarttır (NM-AFM).

İkinci konu ise nano boyuta indirgenen termofotovoltaik hücreler sayesinde başarılabilecek olan enerji hadaslama sistemine yönelik çalışmalardır (N-TPV). Bu iki konu daha detaylı aşağıda verilmiştir. Ama daha detaylı çalışmalar makalelerde ve tezlerde anlatılmıştır. Onlar da bu dökümana ek olarak verilmiştir.

BİRİNCİ KISIM: Yakın Alan Bazlı İşleme Yöntemleri (NM-APM)

Projenin bu kısmı Dr. Vincent Loke ile beraber yürütülmüştür. Buna rağmen, projenin bu kısmı için TÜBİTAK fonları kullanılmamıştır. Vincent Loke Türkiye'ye geldikten sonra Tubitak fonlarının 40 yaş üstü doktora sonrası araştırmacılara verilemeyeceği anlaşılmıştır. Bunun üzerine Dr. Loke, Prof. Mengüç'ün EU Marie Curie IRG projesinden desteklenmiştir. Bu konuda Tubitak'a başta sunulan amaç listesinde olduğu için çıkan bidirilerde bu çalışmaya atıf yapılmıştır. Bu nedenle burada kısa özet olarak bahsedilecek olan bu çalışmanın detayı ekteki iki makalede detaylandırılmıştır. Geniş bir referans listesi de orada verilmiştir.

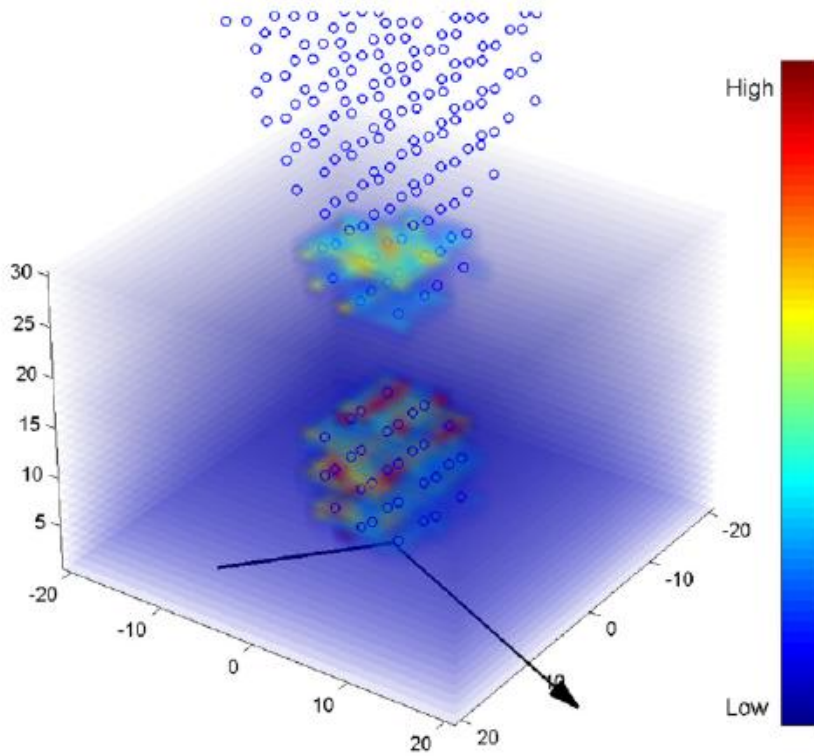


Şekil 1. Model geometrisi (Loke, Mengüç, 2010)

Bu çalışmanın odak geometrisi Şekil 1 de gösterilmektedir. Bu geometride bir atom gücü mikroskopisi kalemi yüzeye yaklaşılmakta, ve yüzey üzerindeki nano-parçacıkla bir ısı iletişime girmektedir. Bu iletişim sadece belli malzemeler kullanıldığında ve uç'un nano-parçacığa 100 nm ve altında yaklaşım sağlandığında gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışma ilk defa bu ilişkiyi detaylı olarak modellemeye yöneliktir. Buradan çıkan program bir MATLAB Toolbox olup, açık olarak herkese verilecektir. (Bu arada bu bildiri taşıdığı potansiyel düşünülerek Spotlight in Optics'e dergi editörleri tarafından seçilmiş ve serbest olarak indirilmesine izin verilmiştir. (<http://www.opticsinfobase.org/spotlight/summary.cfm?uri=josaa-27-10-2293>)).

Şekil 2 de bu programla yapılan bir simülasyondan örnek gösterilmektedir. Silikon yüzey üzerindeki 20 nm lik bir altın parçacığa yaklaşan bir AFM uç parçacığı yakın alanla ısıtmakta ve oldukça yüksek yoğunlukda alanları göstermektedir. Bu da bölgesel ısıtmaya neden olacağı için önemlidir.



Şekil 2. Silikon üzerindeki 20 nm lik altın parçacığa yaklaştırılan AFM uç'un etrafındaki alan yoğunluğu. (Loke, Mengüç, Nieminen, 2011)

Bu çalışmanın detaylarının anlatıldığı iki makale bu rapora ek olarak verilmiştir.

İKİNCİ KISIM: Yakın Alan Bazlı Enerji Hadaslama Yöntemleri (N-TPV)

Enerji verimliliğinin artırılmasında önemli yollardan biri yüksek sıcaklık sistemlerindeki atık ısı enerjisinin geri dönüşümüdür. Termofotovoltaik (TPV) hücreleri atık enerjinin elektirik enerjisi olarak geri dönüşümü için kullanılan sistemlerden biridir.

1969 yılından beri cisimler arasında yayılan ışınımın baskın dalgaboyunun altındaki mesafelerde yakın alan ışınım ile ısı transferini daha iyi anlayabilmek için birçok deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalar düzlemler, tip ile düzlem arası ve küre ile düzlem arasındaki yakın alan ışınım ile ısı transferi deneylerini kapsamaktadır.

Nano-boşluk içeren iki düzlem geometrisi teorik olarak Mengüç (öğrencisi Francoeur) ve grubu tarafından bir dizi bildiri analiz edilmiştir. Bu çalışmalar; deneysel olarak sadece ısı akışı büyüklüğündeki artış değil hangi frekans aralığında ışınım aktarımı bakımından doğrulanmalıdır. Böylece TPV aygıtlarında kullanılabilir duruma gelecektir. Yakın alan ışınım ile ısı transferindeki artışı ölçme plakalar arasında sabit boşluğun elde edilmesi, sabit ısı akışının sağlanması, çok hassas ve müdahalesiz bir şekilde sıcaklık ölçümü yapabilmek gibi bazı önemli noktaları bulunmaktadır.

Çalışmanın bu fazında iki değişik Yüksek Lisans tezi tamamlanmıştır. Bu iki tezin özetleri aşağıda verilmiştir. Detaylı çalışmalar ise ekte ki iki tez de bulunabilir.

Bu tezlerden birincisi David Kurt Webb tarafından Özyeğin Üniversitesinde yapılmış olup bir ölçme sistemine odaklanmıştır. Webb, bu çalışması sonunda çıkan tezi Boğaziçi Üniversitesine sunmuş ve geçmiştir. Yardımcı Doçent Dr. Hakan Ertürk bu çalışmada Webb'in eş-danışmanıdır. İkinci Çalışma ise Zafer Artvin tarafından gerçekleştirilmiş, ve ODTU'ye sunulmuştur. Bunda da Yardımcı Doçent Dr. Tuba Okutucu bu çalışmada Artvin'in eş-danışmanıdır.

Bu ortak çalışma sonunda geniş bir bildiri 7. Uluslararası Işınım ile Isı Transferi Sempozyumuna sunulmuştur. Bu çalışma (Webb ve diğerleri (2013)) de bu rapora eklenmiştir.

Ayrıca, Tubitak projesi sırasında yazılan 2011 de yayınlanan makalede (Francoeur, Vaillon, Mengüç, 2011) nano-TPV sistemlerinde termal etkileri detaylı olarak incelenmiştir.

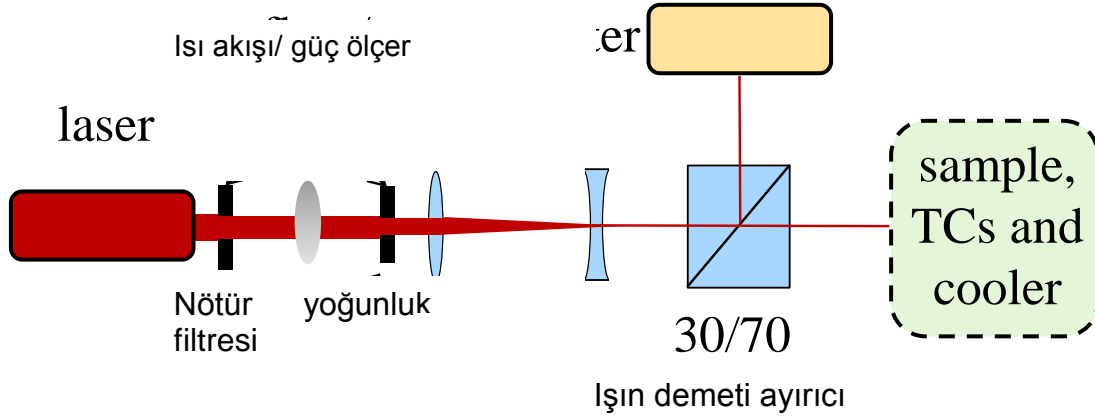
DeneySEL Sistem ve Ölçme (Kurt Webb Tezi özeti)

Amaç

Bu tezde yakın alan ışınım ile ısı transferinin ölçülmesi için ölçüm düzeneği kurulması amaçlanmıştır. Bu ölçümler ile Francoeur ve arkadaşları dahil olmak üzere bir çok araştırmacının aralarında nanometre mertebesinde boşluklar bulunan paralel silisyum karbit yüzeyler arasındaki fonon-polariton eşlenmesi hakkındaki teorik kazanımlarını doğrulamak amaçlanmıştır. Bu tez ile yakın alan ışınım ile ısı transferindeki artışın nicel olarak hesaplanmış ve aralarında nanometre seviyesinde boşluk bulunan paralel yüzeyler için deneysel olarak yenilikler katmıştır. Bununla birlikte paralel plakalar arasında nanometre seviyesindeki mesafelerin ışınım ile ısı transferine etkisinin gösterilmesi ile de daha önceki benzer çalışmalarda daha büyük mesafelerde yapılan çalışmaların geliştirilmesini de sağlamıştır.

Yakın alan ışınım etkilerinin ölçülebilmesi için ölçüm düzeneği hazırlanmıştır. Düzenek ile örneğe ısı aktarılması, örnekten ısının sabit ısı akışıyla alınması ve bu işlemler sırasında örneğin yüzey sıcaklıklarının ölçülmesi işlemleri yapılmıştır. Ölçüm düzeneği ısı kaynağı,

soğutucu, ışık demeti ayırıcısı, akış ölçer, örnek tutucular ve merceklerden oluşmaktadır. Sıcaklık 25 µm çapında proba sahip K tipi sıcaklık ölçerler ile ölçülmüştür (ANBE SMT Co).

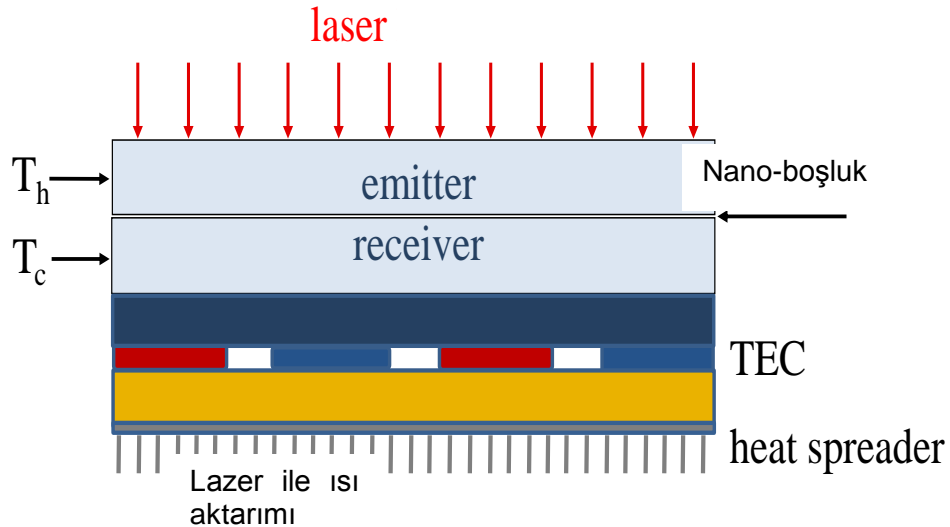


Şekil 3. Deney düzeneği

Işınım ile ısı transferi ölçümünde kullanılacak örnek için birkaç seçenek bulunmaktadır. Mengüç ve Francoueur (2010) tarafından yapılan çalışmaları doğrulamak için; plakalar arasındaki uzaklığın değişiminin ısı akışına olan etkisi ölçülmelidir. Bunun için farklı boşluk mesafeleri bulunan paralel plakalar ayrı ayrı ölçülebilir veya plakalar arasındaki mesafenin ayarlanması ile değişik mesafeler için ölçüm yapılabilir. Işınım ile ısı transferi baskın ve ölçülebilir olması için plakalar arasında paralellik sağlanmalı, iletim ile ısı transferi en az seviyede tutulmalı ve ısı transferi düşük basınçlı bir ortamda olmalıdır. Örnek dizaynına bağlı olarak ölçüm sırasında vakumlu ortama veya vakum pompasına ihtiyaç duyulabilir.

Seçenek 1.

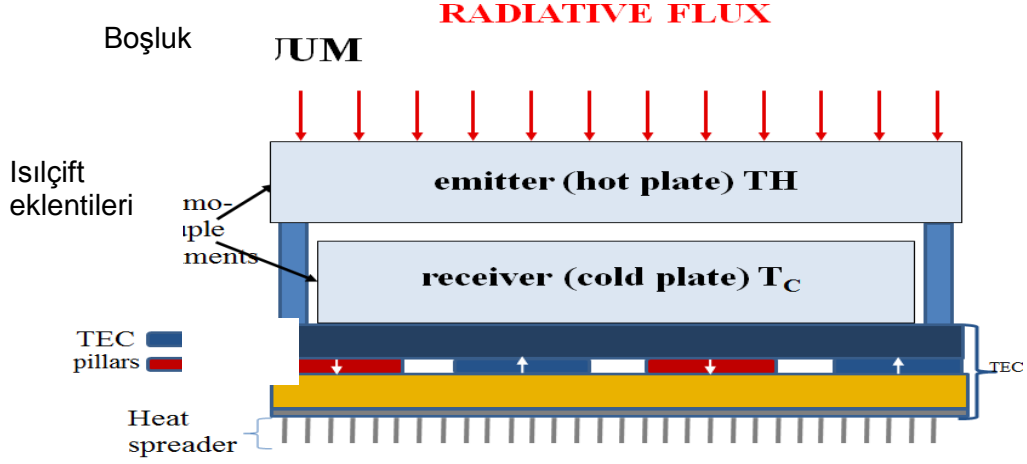
Modular dizayn birinci seçenek olarak sayılabilir. Örnekler iki silisyum pul üzerinde yüzey fonon polaritonları destekleyen silisyum dioksit yüzeylerden oluşmaktadır.



Şekil 4 Örnek ve test düzeneği dizaynı.

Seçenek 2.

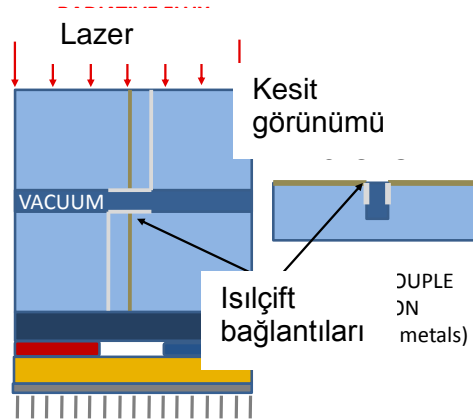
Piezoelektrik ayaklar ile plakalar arasındaki mesafenin ve yüzey paralelliğinin sağlanması ile elde edilen örnek. Mesafe piezo elektrik ayaklara elektrik uygulanarak ayarlanabilir.



Şekil 5. seçenek 2

Seçenek 3.

Üçüncü seçenek silisyum dioksit tabaka ile kaplanmamış yüzey içeren tek örnek çeşittir. Aralarında nano-boşluk bulunan plakalar üzerine lithografi yöntemleri ile ısılçiftler yerleştirilmesine dayanır. Bu örnek fabrikasyonu yapılan örneğe göre yüzey alanı çok daha küçüktür.



Şekil 6 Seçenek 3 örnek tasarımı

Sıcaklık Ölçümü

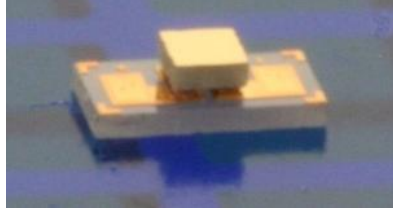
Sıcaklık harici K tipi sıcaklıkölçerler (ısılçift) kullanılarak izlenmiştir. Plakalar arası farklı mesafelerde ve sabit ısı akışı değerlerinde ışın yayan sıcak plaka ile gelen ışığı emen soğuk plaka arasındaki için ısı akışına karşılık gelen sıcaklık değerleri ölçülmüştür.

Isı Kaynağı

Isı kaynağı olarak 660- 680 nm dalgaboyunda (kırmızı) ve 190mW gücünde lazer kullanılmıştır (Model RLF18130). Örnek üzerine düşen lazer gücü Edmond Optics™ 50 mm yoğunluk filtresi ile 0 mW ile 190 mW arasında kontrol edilmiştir.

Örnek Soğutucu

Örneği soğutmak ve sabit ısı akışı elde etmek için Nextreme UPF4 Optocooler™ termo elektrik soğutucusu bir ısı yutucu ile birlikte kullanılmıştır. Termoelektrik soğutucu elektrik akımı ile kontrol edilen ve soğutma oranını verilen voltaj değerinde akımı sınırlayarak yapabildiği bir cihazdır.



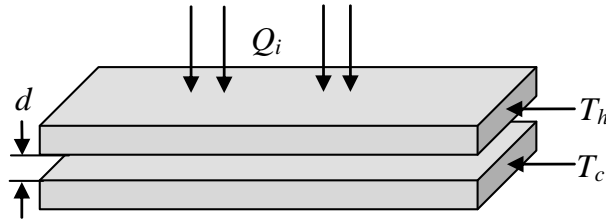
Şekil 7. Nextreme UPF4 Optocooler™

Isı akışı ölçümleri

Isı akışı deney düzeneği ile iki şekilde ölçülebilir. Birincisi ısı kaynağından çıkan lazer demetinin bilinen bir yüzdesini 10 nW hassasiyeti olan optik güç ölçere (Thorlabs S121C fotodiyod) yönlendirmek. İkinci seçenek ise; örnek üzerindeki ısı akışını ölçmektir.

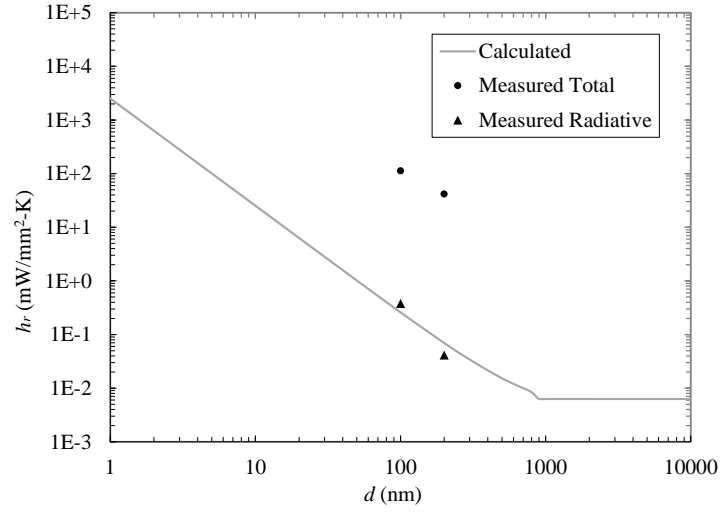
Ölçüm Sonuçları ve Analizler

Plakar arasındaki iki farklı mesafe değeri (d) bir çok farklı sıcaklık farkı değeri (ΔT) için ölçümler yapılmıştır. Işınım ile ısı transferinin plakalar arasındaki mesafe ile olan ilişkisini analiz etmek için aynı d ve değerindeki farklı sıcaklık farklarındaki bağımsız ısı transferi katsayısı (hr) ortalama alınarak hesaplanmıştır. Hesaplanan ışınım ile ısı transferi ile örneğin duvarlarından iletim ile ısı aktarımı oranı kullanılarak ortalama ışınım ile ısı aktarım değeri gösterilmiştir. Bu sonuçlar ve beklenen değerler Şekil 9. de gösterilmiştir.



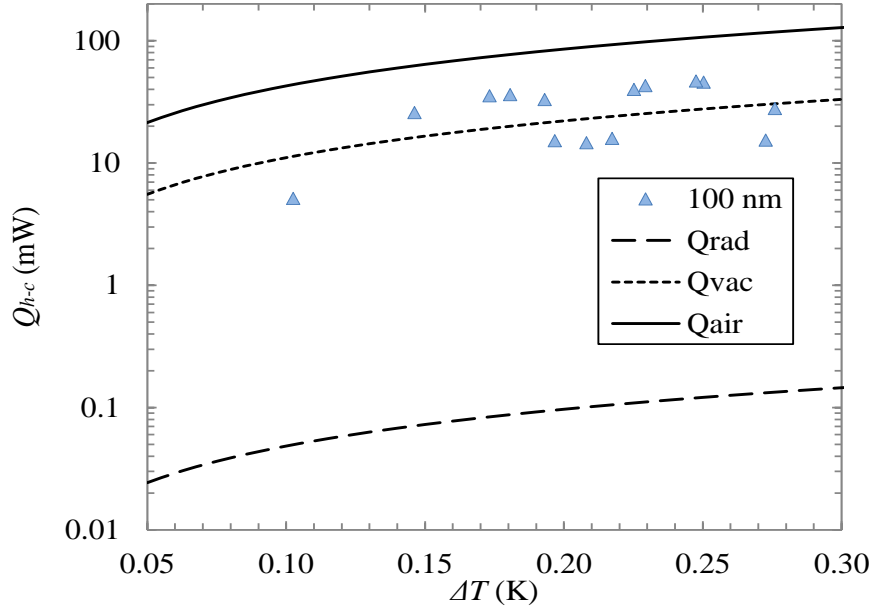
Şekil 8. Deney geometrisi

Ölçüm sonuçları daha önceden iki silisyum dioksit kaplı silisyum pullar için hesaplanan ve beklenen ışınım ile ısı aktarımı –plakalar arası mesafe değerleri ile uyum içinde olduğu söylenebilir.

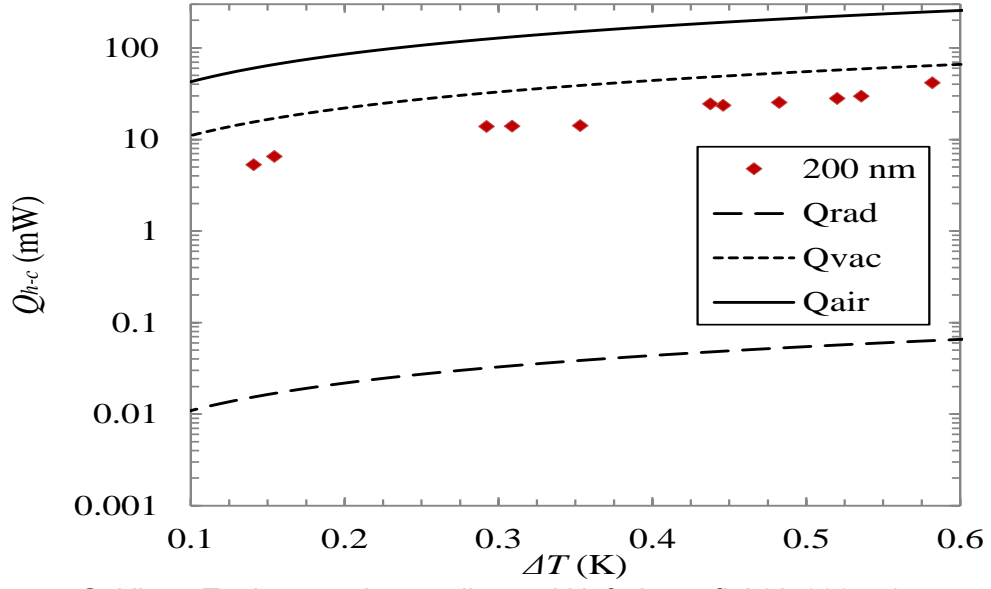


Şekil 9. Ölçülen ve hesaplanan toplam ve ışınım ile ısı transferi miktarlarının plakalar arası mesafeye bağlı değişimi.

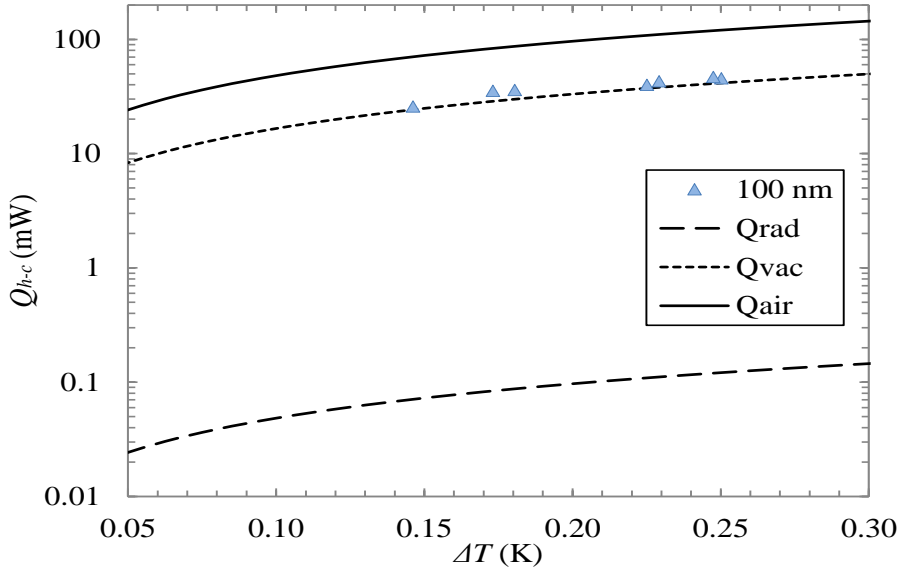
Şekil 10 ve 11'da ΔT , ışınım ile ısı aktarımı gerçekleşen plakaların yapışma yüzeylerine yakın bölgelerinden ölçülen sıcaklık farkını gösterilmektedir.



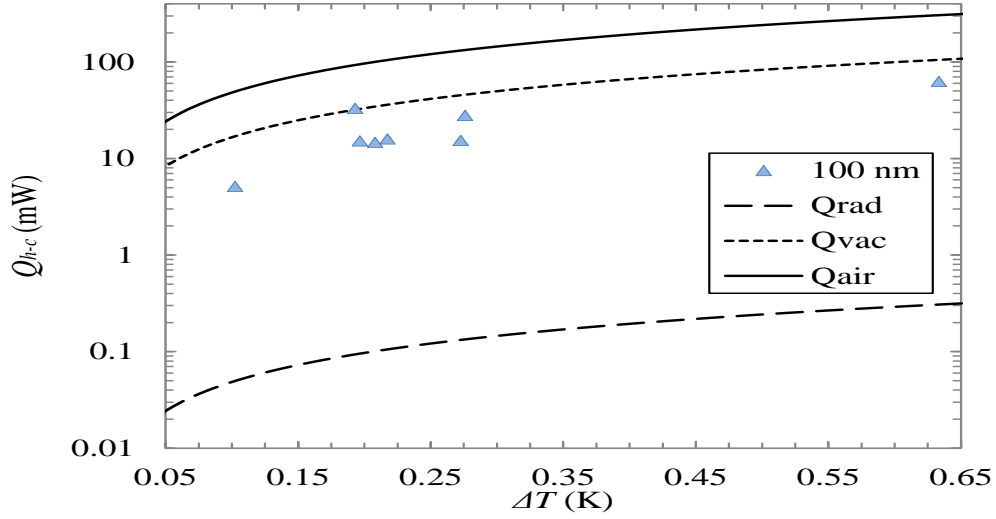
Şekil 10. Toplam ısı aktarımı ile sıcaklık farkı grafiği ($d=100\text{nm}$)



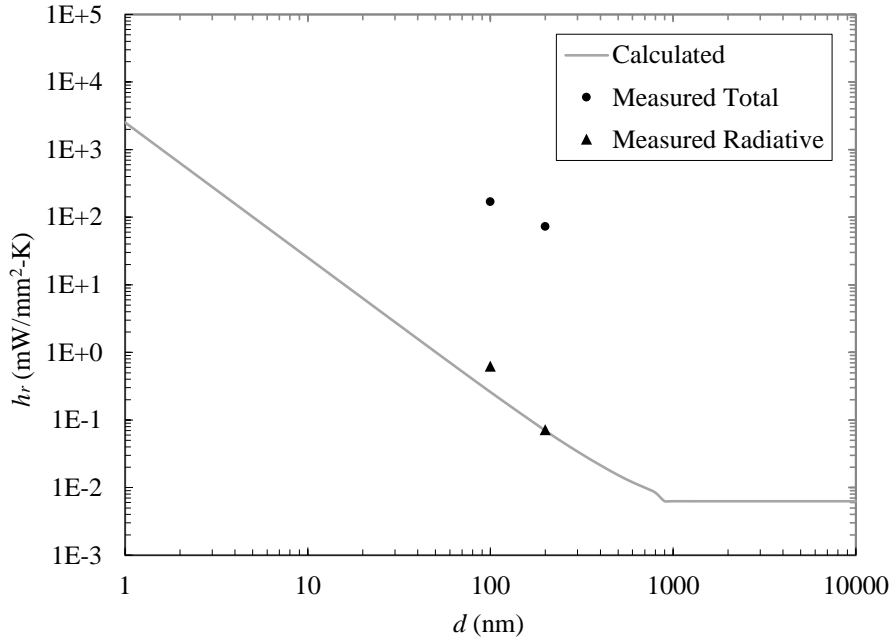
Şekil 11. Toplam ısı aktarımı ile sıcaklık farkı grafiği (d=200nm)



Şekil 12. Toplam ısı aktarımı ile sıcaklık farkı grafiği (d=100nm) 3 μm duvar kalınlığı



Şekil 13. Toplam ısı aktarımı ile sıcaklık farkı grafiği ($d=100\text{nm}$) $2\mu\text{m}$ duvar kalınlığında



Şekil 14. Ölçüm sonuçları-hesaplanan değerler

3 mikrometre duvar kalınlığı ve 100 nanometre plakalar arası mesafe bulunan örnekler için ortalama yüzey sıcaklık farkları Şekil 13'de gösterilmiştir. 200 nm'lik boşluk bulunan örneklerden alınan veriler hesaplanmış değerler ile uyum içersindedir. 100 nm'lik boşluğa sahip örneklerden elde edilen ölçüm verileri boşlukta ışınım ile ısı aktarımı için yapılan hesaplardan biraz yüksek değerlerdedir

Değerlendirme

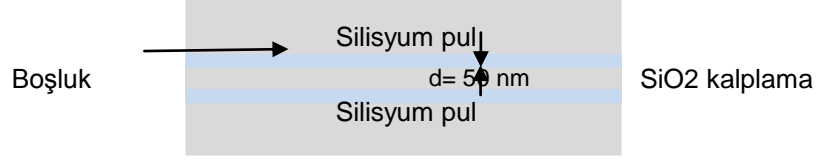
Aralarında 100 nm ve 200 nm boşluk bulunan, nano yapı, birbirine yapıştırılmış silisyum dioksit kaplı silisyum pullarda ısı transferi ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonuçları teoride öngörülen değerler ile uyum göstermiştir. Ölçüm belirsizlikleri ölçülen toplam ısı aktarımı değerlerindedir.

Örnek Hazırlama Çalışmaları (Zafer Artvin Tezi)

Amaç

Bu kısım, ODTÜ'de Yüksek Lisans Tezini hazırlamış olan Zafer Artvin'in çalışmalarının özetini sunmaktadır. Tez'in kendisi de ekte verilmiştir. Zafer Artvin tarafından hazırlanan örnekler Kurt Webb'in deney sisteminde test edilmişlerdir.

Bu çalışma ile ince tabaka Silisyumdioksit kaplı silisyum pullar (wafer) arasında nanometre mertebesinde oluşturulacak boşlukların yakın alan ışınım ısı transferine olan etkileri deneysel olarak incelenecektir. Bu amaçla, silisyum pulların işlenmesi için ön çalışmalar yapılmış, test numunelerinin ve üretim aşamalarının tasarımı tamamlanmış ve üretime başlanmıştır. Genel hatlarıyla elde edilecek istenen test numunesi Şekil-13' de verilmiştir.

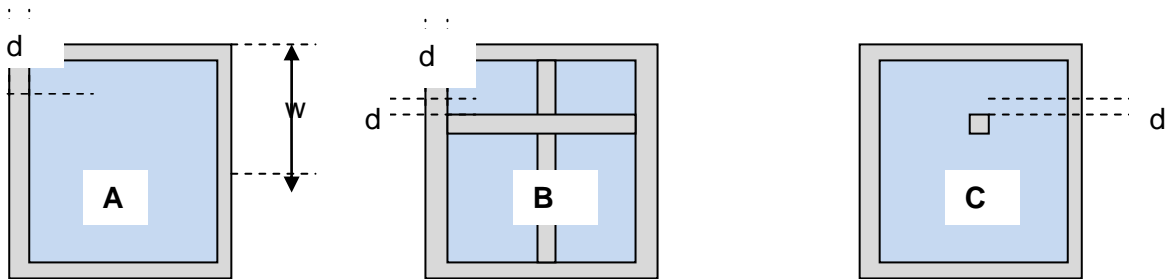


Şekil 15. Isı transferinde iletimi ölçümünde kullanılacak test silisyum pulları

Tasarım ve Uygulama

Üretim için Bilkent Üniversitesi Ulusal Nanoteknoloji Merkezi (UNAM) kullanılmaktadır. Pulların birleştirilmesi (wafer bonding) işlemini ise, Türkiye'de SiO_2 - SiO_2 birleştirme olanağı bulunmadığından, yurtdışında gerçekleştirilmiştir. Parametrelerin ısı transferine etkilerini görmek amacıyla farklı duvar kalınlıkları, d ve boşluk yüksekliklerinde, g , çipler tasarlanmıştır. Ayrıca mukavemet açısından Şekil 16b ve c 'de gösterilen şerit veya adacık şeklinde destek elemanlarının kullanılması düşünülmüştür. Bu sayede vakum altındaki boşluk kısmın çökmesini önlenebilecek, boşluk yüksekliğinin sabit kalması sağlanacaktır. Isının iletimle aktarılmasını en aza indirmek ve yakın alan ışınımının baskınlığını artırmak amacıyla duvar kalınlıklarının, üretimin elverdiği ölçüde az tutulması gerekmektedir. Değişken duvar kalınlığına sahip çipler sayesinde, üretim sırasında aşındırmanın etkileri gözlemlenebilecek, duvar kalınlığının boşluktaki vakum sürekliliğine etkisi ve silisyum pulların yapışmasına etkisi de değerlendirilmesini sağlayacaktır.

Üretilmiş test çiplerinin boyutları Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 16. Farklı test çip geometrileri. D: Duvar kalınlığı (SiO_2), w: Örnek genişliği ve boyu

| | d (µm) | Örnek boyutları (mm*mm) | w*w | g (nm) |
|----|--------|-------------------------|-----|--------|
| A1 | 3 | 1*1 | | 50 |
| A2 | 5 | 1*1 | | 50 |
| A3 | 10 | 1*1 | | 100 |
| A4 | 20 | 1*1 | | 1000 |
| B1 | 3 | 1*1 | | 50 |
| B2 | 5 | 1*1 | | 50 |
| B3 | 10 | 1*1 | | 100 |
| B4 | 20 | 1*1 | | 1000 |
| C1 | 3 | 1*1 | | 50 |
| C2 | 5 | 1*1 | | 50 |
| C3 | 10 | 1*1 | | 100 |
| C4 | 20 | 1*1 | | 1000 |

Tablo 1. Üretilen test örneklerinin boyutları.

Üretim aşamaları

a) Maske Hazırlama

İki farklı maske hazırlamamız gerekmekte birincisi istediğimiz şekillerin silisyum pul üzerine aktarılmasını sağlamak ikincisi ise silisyum pul kesme işlemi sırasında ön yüzey ile arka yüzey arasında doğru hizalamayı ve dolayısıyla doğru yerlerden kesitler almamızı sağlamak amaçlı izler bırakma içindir.

Silisyum pul üzerinde istediğimiz şekillerin oluşturulması için optik maske kullanılmaktadır. Bu teknikle 4 inch silisyum pulüzerinde 100 ün üzerinde parça oluşturulabilir. Biz de üç farklı şekil ve çeşitli duvar kalınlıkları ile onbir adet örnek çeşidini içeren optik maske hazırlanmıştır.

Maske hazırlanmasında Heidelberg Instruments-DWL 66Fs cihazı kullanılmıştır.

b) Silisyum Pulun Delinmesi (ICP)

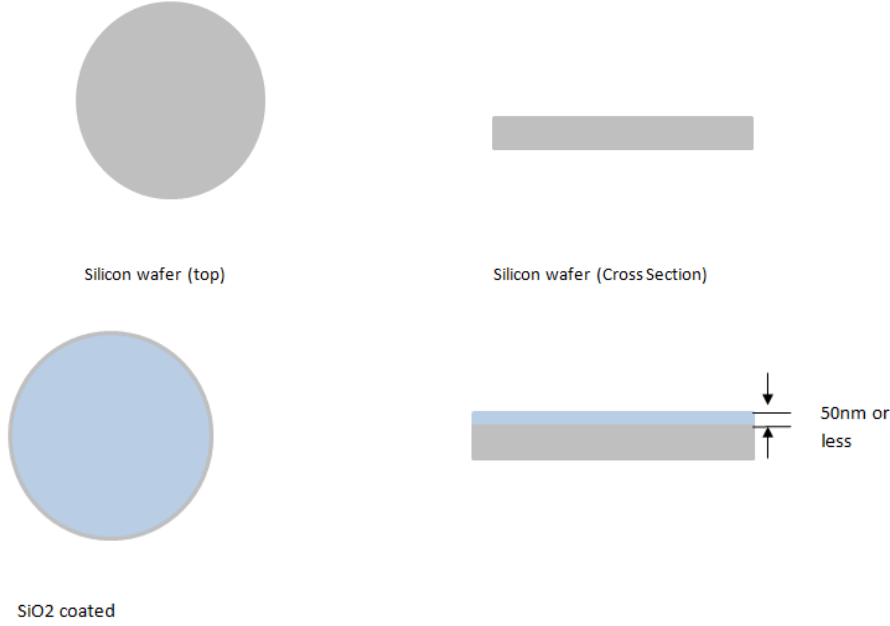
Silisyum pul birleştirme işleminin ardından yapılacak kesme işlemini kolaylaştırmak, test çiplerini birbirinden zararsız şekilde, istenen yerlerden ayırabilmemiz için, pulların arka yüzeyinde, ön yüzeyle hizalanmış bir ize ihtiyaç duyulmaktadır. Bu izi bırakabilmek için iki farklı seçenek bulunmaktadır. Birincisi ICP (inductive coupled plasma) cihazını kullanarak silisyum pulu, kalınlığı boyunca arka yüzeyden de görülebilecek şekilde aşındırmaktır. Bu işaret referans alınarak kesim işlemi yapılabilecektir. ICP mikrofabrikasyonda kullanılan bir aşındırma tekniğidir. Vakum altında yüksek voltaj uygulanarak plazma elde edilir. Yüksek enerjili iyonlar silisyum pul üzerine çarpar ve aşınmasını sağlar. Bu yöntem, optik hizalama gerektirmediginden uygulaması kolay bir yöntemdir. Ancak 0.5 mm kalınlığındaki silisyum pulların ortasına açılan bu yarık, mukavemet sorunu yaratıp işaretlemeyi izleyen üretim aşamalarında silisyum pulların çatlamasına sebep olabilmektedir.

İkinci yöntem ise maske hazırlanması sırasında ön ve arka yüzeylerin aynı anda işaretlenmesini sağlamaktır. Bu işaretler, pullar birleştirilmeden önce optik hizalama yöntemi ile hizalanıp, kesme sırasında referans olarak kullanılabilir.

c) SiO₂ Kaplama (PECVD)

Silisyum pullar üzerine silisyumdioksit kaplamanın çeşitli yöntemleri vardır. Üretimine başlanan ilk örneklerde, kaplama için UNAM'da yer alan PECVD (plasma enhanced chemical vapor deposition) cihazı kullanılmıştır (VAK-SİS CVD Handy). Birleştirme sırasında pulların birbirine temas eden yüzeyleri Şekil 3'te belirtildiği gibi, SiO₂ kaplanmış yüzeyler olacaktır.

PECVD , gaz fazındaki kimyasalların silisyum pul üzerinde reaksiyona girip yüzeyde istenilen ince filmi oluşturması işlemidir. Silisyumdioksit kaplanması için kullanılan gazlar NO_2 ve SiH_4 'tür.



Şekil 17. Silisyum pul a) üstten görünüm ve kesit b) PECVD yöntemi ile kaplama

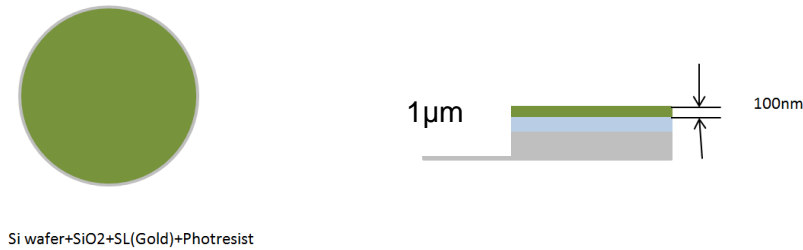
PECVD ile SiO_2 kaplamadan sonra yüzey pürüzlülüğünü azaltma amacıyla CMP (kimyasal ve mekanik cilalama) işlemi yapılması gerekmektedir. Ayrıca kaplamanın yoğunluğunu artırmak, içindeki boşlukları azaltmak amacıyla $300-400\text{ }^\circ\text{C}$ 'de tavlama işlemi yapılmıştır.

SiO_2 kaplamanın başka bir yöntemi de ısıl oksitleme (thermal oxidation) yöntemidir. Bu yöntem, yüksek sıcaklıkta gerçekleştiğinden ayrıca ısıl işleme gerek kalmamaktadır. Elde edilen yüzey pürüzlülüğü de PECVD'ye göre çok daha az olmaktadır.

Yurt dışında yapılacak pul birleştirme işlemi için yüzey pürüzlülüğünün 0.5 nm 'nin altında olması gerekmektedir. Bu nedenle PECVD ile, istenen yüzey kalitesi elde edilemezse, SiO_2 kaplama, ısıl oksitleme yöntemi ile ODTÜ Merkezi Laboratuvarında gerçekleştirilebilmiştir.

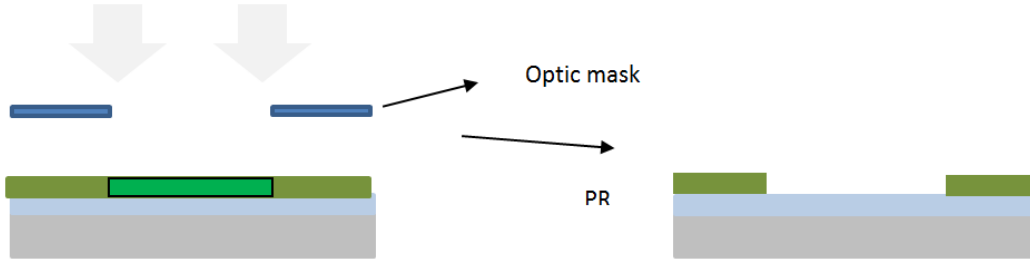
d) Maskeleme ve Aşındırma

SiO_2 kaplanmış silisyum pul üzerine istenen yapıları yerleştirmek üzere öncelikle Şekil 16'te gösterildiği gibi $1\text{ }\mu\text{m}$ kalınlığında photoresist malzeme ile tüm yüzeyi kaplanır.



Şekil 18. Photoresist kaplanmış silisyum pul

Daha sonra, birinci üretim aşamasında hazırlanan maske kullanılarak, silisyum pul üzerinde SiO_2 kaplı alanlardan aşındırılması istenen bölgeler belirlenir ve aseton yardımı ile aşındırılır.



Şekil 19. UV ışık ve maske kullanılarak belirlenen bölge aseton kullanılarak aşındırılır.

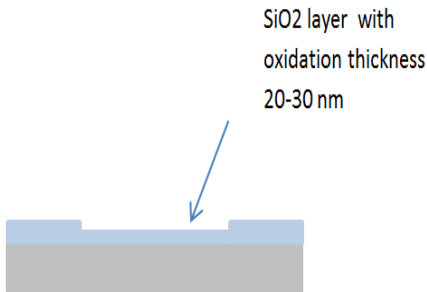
Bunun ardından, photoresist malzemeyi aşındırarak elde edilen kısımlar yine uygun kimyasal (Buffered HF,BHF) kullanılarak Şekil 6'da gösterildiği gibi silisyum pul yüzeyine kadar aşındırılır. Photoresist, altında bulunan bölgeyi korur ve dış çerçevenin oluşmasını sağlar.



Şekil 20. Photoresist olmayan bölgeler BHF ile aşındırıldı.

e) İkinci SiO₂ Kaplama

Aşındırma işleminden sonra boş kalan silisyum orta bölge üzerine tekrar 50 nm SiO₂ kaplanır (bk. Şekil 7).



Şekil 21: SiO2 Kaplı orta alan

f) Silisyum Wafer Birleştirme (Fusion Bonding)

Silisyum pulların birleştirilme işlemi Fusion Bonding yöntemi ile Avusturya da bulunan EVG firması tarafından yapılacaktır. Burada, daha sonra kesme işlemini de kolaylaştırmak amacıyla optik hizalama yöntemi ile pullar hizalanacak, daha sonra vakum altında birleştirme gerçekleştirilecektir.

g) Silisyum Pul Kesme (Dicing)

Silisyum waferlar vakum altında birleştirildikten sonra önceden yerleştirilen hizalama işaretleri sayesinde 1 mm × 1 mm boyutlarında kesilerek test çiplerine ayrılacaktır. Kesme işlemi Bilkent Üniversitesi UNAM tesislerinde gerçekleştirilmiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER:

Tubitak tarafından desteklenen 109M170 Projesi, yakın-alan ışınlama ile ısı transferi konusunda oldukça önemli çalışmalar yapmamızı sağlamıştır. Genel olarak bu projenin amacı yakın-alan ışınlama ile ısı transferi kavramlarını hem deneysel hem de teorik olarak çalışmaktır. Işınlama ile ısı transferi tüm boyut skalalarında Planck kanununu takip ettiği halde, dalga boyu veya daha düşük boyutlarda evanesent dalgalarla çok daha yüksek bir seviyeye ulaşır. Bu ışınlama yakın alan ilişkileri kullanılarak nano-boyut cihazların üretilebilmesi ile daha etkin tasarlanabilecektir. Bu kavram hem nano-termofotovoltaik enerji hadaslama hem de nano-boyutta atom gücü mikroskopi ile işleme için irdelenmiştir.

Nano-işleme kavramlarına yardım etmesi için yeni bir program geliştirilmiş ve Matlab Toolbox olarak sunulmuştur. Bu sayısal model bir dizi çalışmaya uygulanmıştır. Nano-enerji hadaslama uygulamalarına yönelik temel çalışmalar için de bir deney sistemi kurulmuştur. Bu deney sisteminde kullanılmak üzere değişik örneklerde nanoteknoloji yöntemleriyle oluşturulmuş, ve deney sisteminde kullanılmıştır. Yapılan deneyler ışınlama ile ısı transferindeki artışı göstermiştir. Bu temel çalışmaların devamı uzun vadede hem nano-boyut işlemlerin kurgulanmasına hem de nano-boyut termofotovoltaik hücrelerin tasarımına yardım edecektir.

Bu proje sonunda bu temel konunun daha uzun bir araştırma çabası gerektirdiğinde ortaya çıkmıştır. Loke ile yapılan çalışmalar çok prestijli iki dergide yayınlandığı halde, daha ileriye ve radyasyon emisyonunun hesaba katmaya zaman kalmamıştır. Webb ve Artvin'in yüksek lisans tezlerinde Boğaziçi ve Orta Doğu Teknik Üniversiteleri jürileri tarafından kabul edilmiş bulunmaktadır. Tüm bu çalışmalar bu yıl '7th International Symposium on Radiative Transfer'de sunulacaktı. Ayrıca, bu çalışmaların devamında Profesör Mengüç Japonya'da davetli bir key-note sunum yapmıştır (Mengüç, 2012). Uzun vadede bu proje sırasında geliştirilen deneysel ve sayısal çalışmaların devam etmesi gerekmektedir.

REFERANSLAR:

ARTVİN, Z. (2012). 'Fabrication of Nanostructured Samples for the Investigation of Near Field Radiative Transfer,' Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik ve Özyegin Üniversitelerinde yapılan çalışma; ODTÜ'ye sunuldu (Danışman: M. P. Mengüç; Ek-Danışman: Yardımcı Doçent Dr. Tuba Okutucu, ODTÜ).

FRANCOEUR, M., Vaillon, R., and Mengüç, M.P. (2011). Impacts of Thermal Effects on the Performances of Nanoscale-Gap Thermophotovoltaic Power Generators. IEEE Transactions on Energy Conversion. Vol. 26, Issue:2, Pages: 686-698, Jun. 2011.

HOWELL, JR, Siegel, R., Mengüç, M.P., (2010). 'Thermal Radiation Heat Transfer', 5th Edition, CRC Press, 2010.

LOKE, V., and Mengüç, M.P. (2010). Surface Waves and AFM Probe-Particle Near-Field Coupling: Discrete Dipole Approximation with Surface Interaction. Journal of the Optical Society of America - A. JOSA A, Vol. 27 Issue 10, pp.2293-2303 (2010). Available on-line freely as it is Selected to Spotlight in Optics: <http://www.opticsinfobase.org/spotlight/summary.cfm?uri=josaa-27-10-2293>)

LOKE, V., Nieminen, T.A., and Mengüç, M.P. (2011). DDA with Surface Interaction: Computational Toolbox for MATLAB. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. Vol. 112, Issue:11, Pages: 1711-1725, Jul. 2011

MENGÜÇ, M.P. (2012). Near-Field Radiation Transfer for Diagnostics, Patterning and Energy Harvesting at Nanoscales, Key Note lecture delivered at the 'International Workshop on Nano/Micro Thermal Radiation,' at Matsushima Bay Area, Miyagi, Japan, May 23-25, 2012. (<http://www.ifs.tohoku.ac.jp/gcoe/NanoRad2012/>).

WEBB, Kurt D., (2012). "Near Field Radiation Measurements," Yüksek Lisans Tezi, Özyegin ve Bogaziçi Üniversitelerinde yapılan çalışma; Boğaziçi Üniversitesine sunuldu (Danışman: M. P. Mengüç; Ek-Danışman: Yardımcı Doçent Dr. Hakan Ertürk, Bogazici U.).

WEBB, Kurt D., Zafer Artvin, Farhad Kazemi Khosroshahi, Hakan Ertürk, Tuba Okutucu, M. Pinar Mengüç (2013), 'Near Field Radiative Heat Transfer Measurements between parallel plates', to be presented at the 7th International Symposium on Radiative Transfer, Kusadası, Turkey, June 2-7, 2013.

EKLER:

- EK 1: David Kurt Webb Yüksek Lisans Tezi (İngilizce) (2012)
- EK 2: Zafer Artvin Yüksek Lisans Tezi (İngilizce) (2012)
- EK 3: Bildiri 1 MPM ve Vincent Loke, JOSA-A (2010)
- EK 4: Bildiri 2 MPM ve Vincent Loke, JQSRT (2011)
- EK 5: Bildiri 3 MPM ve M. Francour, IEEE (2011)
- EK 6: Bildiri 4 Webb ve diğerleri (2013)
- EK 7: Mali Müşavir Raporu

**TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

| |
|--|
| Proje No: 109M170 |
| Proje Başlığı: "Termo/Fotovoltaik Güç Jeneratörleri Gelişimi İçin Yakın-Alan Işınımlı Isı Transferi Araştırması" |
| Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Prof. Dr. M. Pınar Mengüç, Özyeğin Üniversitesi Kurt D. Webb, YL Öğrencisi (Bogaziçi; Yard. Doç. Hakan Ertürk, ek danışman) Zafer Artvin, YL Öğrencisi (ODTÜ; Yard. Doç. Tuba Okutucu, ek danışman) Dr. Vincent Loke, Doktora Sonrası Araştırmacı, ÖzU (TUBİTAK fonları kullanılmadı) |
| Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Özyeğin Üniversitesi, Çekmeköy, İstanbul |
| Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TUBİTAK (FP-7 Marie Curie IRG dan da destek alındı; Dr. Vincent Loke bu fondan para aldı). |
| Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: Kasım 2009-Ağustos 2012 |
| Öz (en çok 70 kelime) Bu projenin amacı yakın-alan ışınımla ısı transferi kavramlarını hem deneysel hem de teorik olarak çalışmaktır. Işınımla ısı transferi tüm boyut skalalarında Planck kanununu takip ettiği halde, dalga boyu veya daha düşük boyutlarda evanesent dalgalarla çok daha yüksek bir seviyeye ulaşır. Bu ışınımla yakın alan ilişkileri kullanılarak nano-boyut cihazların üretilebilmesi ile daha etkin tasarlanabilecektir. Bu kavram hem nano-termofotovoltaik enerji hadaslama hem de nano-boyutta atom gücü mikroskopi ile işleme için irdelenmiştir. Abstract The objectif of this project is to study the fundamentals of near field radiative transfer both experimentally and numerically. Although radiation transfer follows the Planck law at all scales, once the gap distance falls below the length of wavelength, radiation transfer is significantly enhanced. Using this concept, innovative devices can be designed to operate at nanoscales. We show that near-field effects can be used for both nano-machining and nano-thermophotovoltaic cells. |

Anahtar Kelimeler:

Yakın alan ısı transferi; nano-işleme; termofotovoltaik hücreler

Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet Gerekli Değil X

Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.

Projeden Yapılan Yayınlar:

ARTVİN, Z. (2012). 'Fabrication of Nanostructured Samples for the Investigation of Near Field Radiative Transfer,' Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik ve Özyegin Üniversitelerinde yapılan çalışma; ODTÜ'ye sunuldu (Danışman: M. P. Mengüç; Ek-Danışman: Yardımcı Doçent Dr. Tuba Okutucu, ODTÜ).

FRANCOEUR, M., Vaillon, R., and Mengüç, M.P. (2011). Impacts of Thermal Effects on the Performances of Nanoscale-Gap Thermophotovoltaic Power Generators. IEEE Transactions on Energy Conversion. Vol. 26, Issue:2, Pages: 686-698, Jun. 2011.

LOKE, V., and Mengüç, M.P. (2010). Surface Waves and AFM Probe-Particle Near-Field Coupling: Discrete Dipole Approximation with Surface Interaction. Journal of the Optical Society of America - A. JOSA A, Vol. 27 Issue 10, pp.2293-2303 (2010). Available on-line freely as it is Selected to Spotlight in Optics: <http://www.opticsinfobase.org/spotlight/summary.cfm?uri=josaa-27-10-2293>)

LOKE, V., Nieminen, T.A., and Mengüç, M.P. (2011). DDA with Surface Interaction: Computational Toolbox for MATLAB. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. Vol. 112, Issue:11, Pages: 1711-1725, Jul. 2011

MENGÜÇ, M.P. (2012). Near-Field Radiation Transfer for Diagnostics, Patterning and Energy Harvesting at Nanoscales, Key Note lecture delivered at the 'International Workshop on Nano/Micro Thermal Radiation,' at Matsushima Bay Area, Miyagi, Japan, May 23-25, 2012. (<http://www.ifs.tohoku.ac.jp/gcoe/NanoRad2012/>).

WEBB, Kurt D., (2012). "Near Field Radiation Measurements," Yüksek Lisans Tezi, Özyegin ve Bogaziçi Üniversitelerinde yapılan çalışma; Boğaziçi Üniversitesine sunuldu (Danışman: M. P. Mengüç; Ek-Danışman: Yardımcı Doçent Dr. Hakan Ertürk, Bogazici U.).

WEBB, Kurt D., Zafer Artvin, Farhad Kazemi Khosroshahi, Hakan Ertürk, Tuba Okutucu, M. Pinar Mengüç (2013), 'Near Field Radiative Heat Transfer Measurements between parallel plates', to be presented at the 7th International Symposium on Radiative Transfer, Kusadası, Turkey, June 2-7, 2013.

Proje ile ilgili Yapılan Konuşmaların Listesi:

'Effect of Near-Field Radiative Transfer on Development of Thermophotovoltaic Power Generators', Solar Future 2010, Istanbul, Turkey. February 2010.

'Control of near-field radiative heat transfer via surface phonon-polaritons coupling in thin films.' International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META'10), Cairo, Egypt. March 2010.

'Near Field Radiation Between Two Surfaces' and 'Modeling Near-field Coupling of Particles on a Surface and an AFM probe via discrete dipole approximation,' Workshop on Nano particles, nano structures and near field computation, , Bremen, Germany, March 2010.

'Near Field Radiation Transfer for Thermophotovoltaic Cells,' NANO-TR Conference. Ankara, Turkey. April 2010.

'From Steam to Nano,' Dedication Lecture, Sixth International Symposium on Radiative Transfer, ICHMT, Antalya, Turkey. (This event was dedicated to M. P. Mengüç and two others), June 2010.

Near-field Radiative Transfer at Nano-Scales: For Manufacturing & Energy Harvesting'; two invited talks at the NATO Advanced Study Institute on Polarimetry, Kiev, Ukraine, (M. P. Mengüç – invited speaker for two lectures). September 2010.

'Near Field Radiation Transfer and Applications,' Koc U. Physics Science Colloquium, Feb 24, 2011.

'Near-Field Radiation Transfer towards the design of Nano-Thermophotovoltaic Cells', Eurotherm Seminar 91, Microscale Heat Transfer III, Poitiers, France (invited speaker) August 29-31, 2011.

'Light Scattering and Absorption for Applications to Manufacturing and Energy Conversion at Nanoscales', 26-30 September, 2011, Electro Magnetic and Light Scattering XIII Conference, Taormina, Italy (invited speaker). Sep. 2011.

'Near-Field Radiation Transfer for Energy Harvesting and Manufacturing at Nanoscales', International Workshop on Nano-Micro Thermal Radiation, Miyagi-Japan, (Nano-Rad 2012); Key-Note Lecture, May 23-25, 2012.

Numerical Heat Transfer 2012 International Conference, Wroclaw-Poland, coordinated by Institute of Thermal Technology, Silesian University of Technology, Invited Speaker, Prof. M. Pınar Mengüç, 'Radiative Transfer Models.', September 4-6, 2012.

SOLARTR-2 Electricity Conference & Exhibiton, Antalya, Turkey, organized by Turkish Photovoltaic Technology Platform (UFTP), Invited Lecture by Prof. M. Pınar Mengüç, 'Near Field Radiative Transfer for Thermophotovoltaic Systems', November 7-9, 2012.

Ekte Bulunan "ARDEB Başarı Öyküsü Formu", "Kazanımlar" Bölümünde Belirtilen Kriterlere Göre Proje Çıktılarınızın Başarı Öyküsü Niteliği Taşdığını Düşünüyorsanız "ARDEB Başarı Öyküsü Formu"nu doldurunuz.

ARDEB BAŞARI ÖYKÜSÜ (Doldurulmadı)

| Proje Adı | Proje Yürütücüsü |
|---|---|
| <p>(PROJE ŞEKİL/GRAFİK/ FOTOĞRAF) (En fazla 4 tane – jpg formatında, 35 x 35 cm (300 dpi)): İsimleriyle ve şekil altı açıklamalarıyla birlikte sıralanmış olarak formda belirtilmesi ve 300 dpi çözünürlükte ayrı jpeg dosyaları halinde formun ekleri olarak gönderilmesi gerekmektedir.</p> | Proje No: 109M170 |
| | Destek Miktarı (TL) |
| | Kasım 2009-Ağustos 2012 |
| | Özyeğin Üniversitesi |
| | <p>(PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ FOTOĞRAF) 300 dpi çözünürlükte ayrı jpeg dosyası olarak forma eklenmelidir.</p> |
| Projenin Amacı ve Önemi (En fazla 150 kelime) (Maddeler halinde sıralayınız) | |
| Proje ile Elde Edilen veya Beklenen Bilimsel, Teknolojik, Ekonomik ve Sosyal Kazanımlar (En fazla 200 kelime) <ul style="list-style-type: none">• Projeden uluslararası, etki faktörü yüksek dergilerde yapılan yayın(lar)-(etki faktörünü de veriniz)• Proje kapsamında elde edilen ürün, buluş, çıktı vb. için alınacak/alınmış patentler ve/veya gerçekleştirilmiş/gerçekleştirilecek teknolojik/ticari uygulama(lar)• Proje kapsamında alınan ödüller/ödül adaylıkları• Projenin ülkenin bilimsel ve teknolojik araştırma gücüne, bilim insanı yetiştirilmesi ve yeni yetenekler kazanılmasına sağladığı katkılar | |
| Proje için TÜBİTAK Desteğinin Önemi (En fazla 150 kelime) | |

1. Proje yürütücüsü iletişim bilgileri:

Adı – Soyadı : M. Pinar Mengüç
Unvanı : Professor Dr.
Telefon : 0530 549 6411
E-posta adresi : pinar.menguc@ozyegin.edu.tr