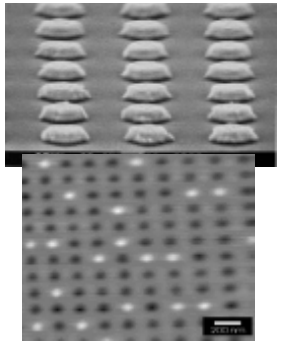
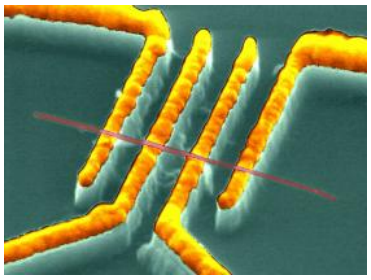
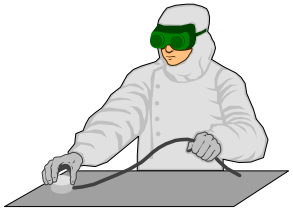
Bilkent Üniversitesi NANOTAM Nanoteknoloji Araştırma Merkezi



Nanoteknoloji ve Metamalzemelerin Sihirli Dünyası

Prof. Dr. Ekmel Özbay
Bilkent Üniversitesi
Nano Teknoloji Araştırma Merkezi







Geleceğin teknolojisi nedir?



- **Nanoteknoloji**
  - **Geleceğin teknolojisi**
  - **Geleceğin mesleği**

Sanayi devrimleri

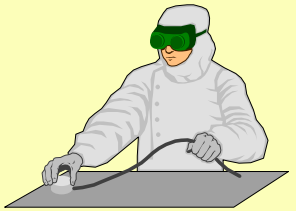
1. Buhar makinası, makina imalat sanayi, otomasyon.

metre - milimetre



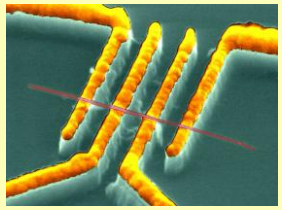
2. Mikroelektronik sanayi.

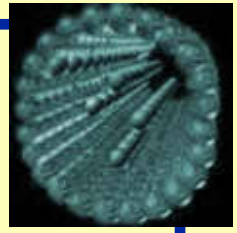
1 mikrometre= 1 milimetre / 1000



3. Nanoteknoloji

1 nanometre= 1 mikrometre / 1000





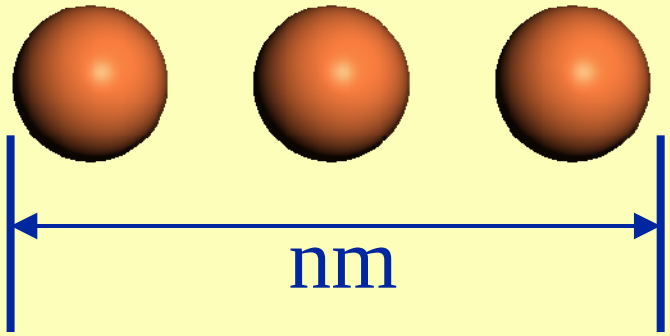
Nanometre

Nanometre = metrenin milyarda biri

Örneğin, bir saç telinin kalınlığı: yaklaşık yüzbin nanometre

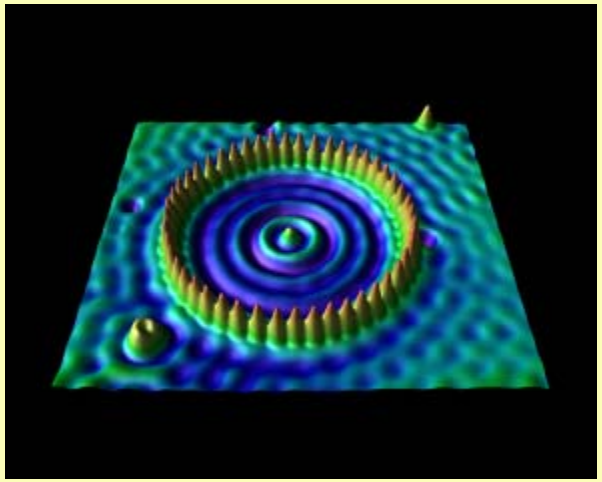
Alyuvarlar: bir kaç bin nanometre

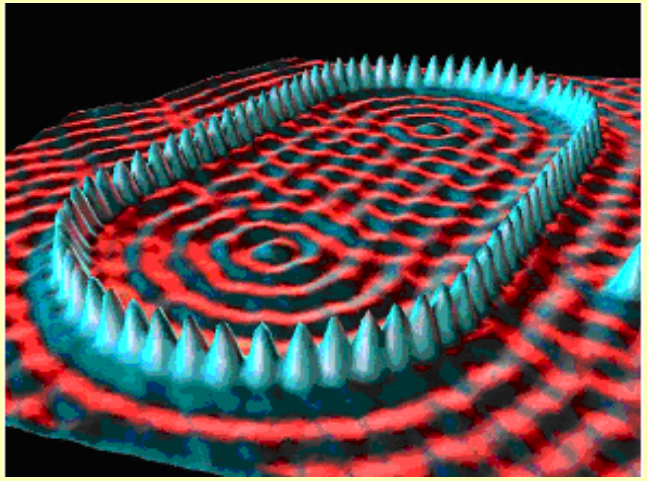
DNA kalınlığı: bir kaç nanometre

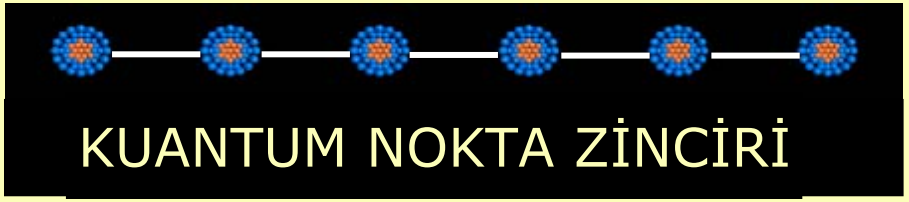


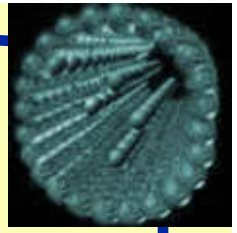
Nanoteknoloji nedir?

- Geleceğin teknolojisi: Nanoteknoloji
  - **100 nanometre boyutta ve daha küçük**
    - » **1 metrenin 10 milyonda biri ve altı**
  - **Kuvantum özelliklerinin görüldüğü yapıları**
  - **İşlevsel kullanarak daha önce elde edilememiş**
  - **Malzeme, aygıt ve sistemler yapar.**



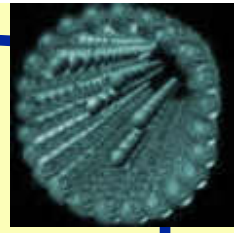






Nanoteknoloji

- Nanometre ölçeklerinde malzemeler sahip olağandışı fiziksel özelliklere sahiptir.
  - Örneğin, küçük hacim işgali, yüksek hız, yüksek mukavemet, değişkenlik, düşük enerji sarfiyatı.
- Nanoteknoloji çeşitli alanlarda teknolojik devrim niteliğinde yeni ürünler imal etmektedir.
  - Bilişim ve iletişim teknolojileri, elektronik, biyoteknoloji, farmakoloji, tıp, savunma sanayii vb.
- Gelecek 15 yıl içinde yeni bir sanayi devrimi bekleniyor.



Niçin nanoteknoloji?

- **Örnek, bilgi depolama**
  - **Dünyada her yıl on milyar kere milyar 'bit' bilgi yaratılmaktadır.**
  - **Bu bilgiyi depolamak için gerekli DVD'ler üstüste konulsa 1000 km'lik bir sütun elde edilir.**
  - **Aynı bilgiyi nanoteknoloji sayesinde bir kesme küp şeker içinde depolamak mümkündür.**

Nanoteknolojinin önemi



- USA National Science Foundation 2015 yılına kadar Nanoteknolojinin ABD ekonomisine 1 trilyon dolar katkı sağlamasını beklemektedir.
- Başkan Bush gelecek 4 yıl için Nanoteknoloji konusunda araştırmaları desteklemek üzere federal bütçeden 3.7 milyar dolar kaynak ayrılmasını onayladı.
- Benzer yatırımlar Japonya'da da yapılmaktadır.
- AB, nanoteknolojide ABD ve Japonya'ya yetişebilmek için FP6 içinde nanoteknolojiyi alanında araştırmalar için 1.6 milyar euro sağladı. FP7 için 4.5 milyar euro kaynak ayrıldı.
- Çin Cumhuriyeti nanoteknoloji ve ilgili konularda 1 milyon uzman yetiştirme planını açıkladı.
- Rusya önümüzdeki 7 yıl için (2015) 4 milyar dolarlık nanoteknoloji programı oluşturdu.
- Kore'de nanoteknoloji konusunda çok yoğun çalışmalar başladı. Karbon nanotüpden monitor yapıldı.

Forbes top 10 nano-ürünler



Eddie Bauer



Vitamine A in polymer capsule

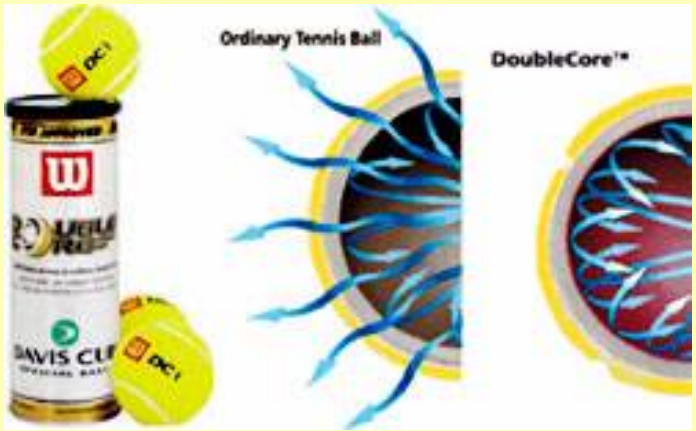


NuCelle SunSense SPF 30 : Nano dispersion of ZnO particles BASF

Babolat with CNT in frame

Increased stiffness without adding weigth





InMat's Air D-Fense nanocomposite

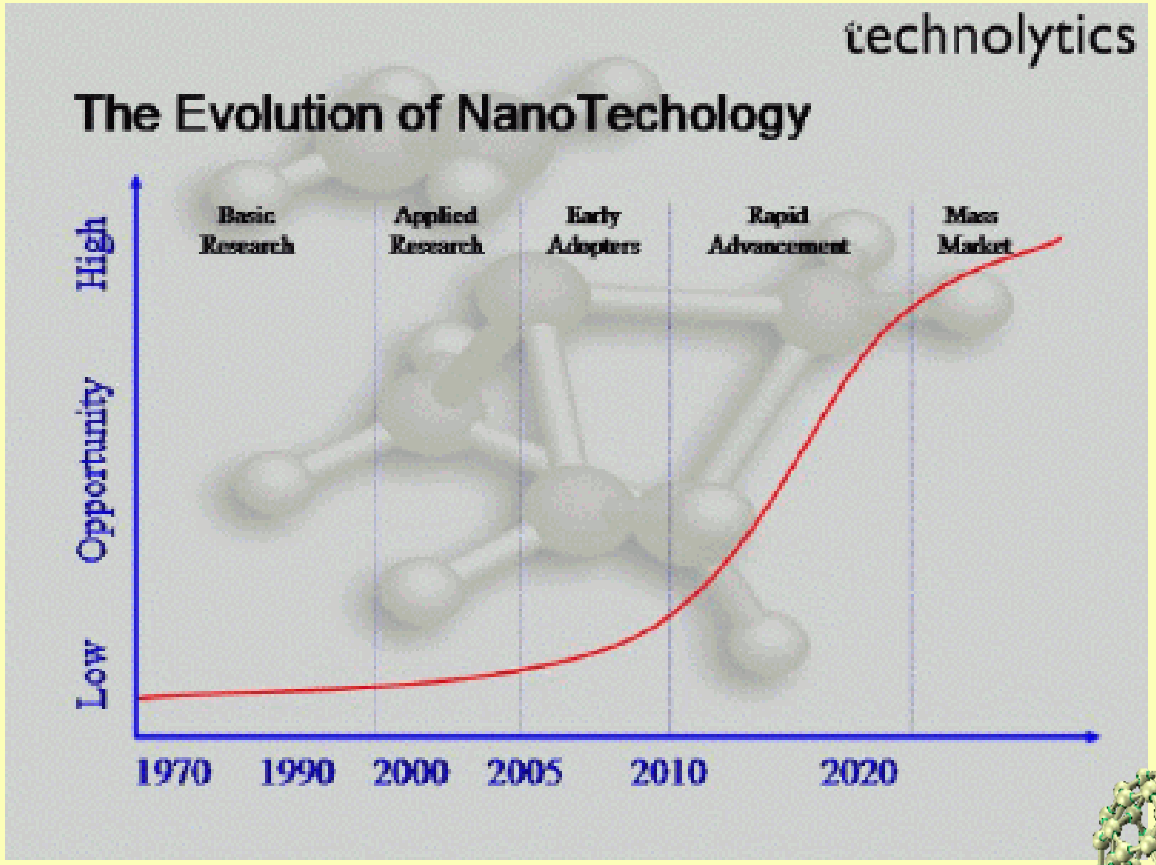
En çok nanoteknoloji patenti alanlar

No.	Kurum	Adet
1		266
2		125
3		107
4		84
5		79
6		76
7		76
8		66
9		65
10		62

En çok nanoteknoloji patenti alanlar

No.	Kurum	Adet
1	L'Oreal (cosmetics)	266
2	International Business Machines (IBM) (technology)	125
3	Regents of the University of California	107
4	Eastman Kodak Company (photo images)	84
5	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	79
6	Henkel Kommanditgesellschaft (home/pers. Care)	76
7	Japan S&T Corp (government-sponsored agency)	76
8	BASF Aktiengesellschaft (Chem/mat)	66
9	Allied Signal (chem/mat., now part of Honeywell)	65
10	Micron Technology, Inc. (semiconductors)	62

Nanoteknoloji pazarı

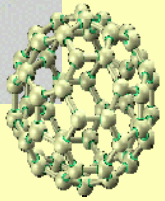


Nanoteknoloji pazarı

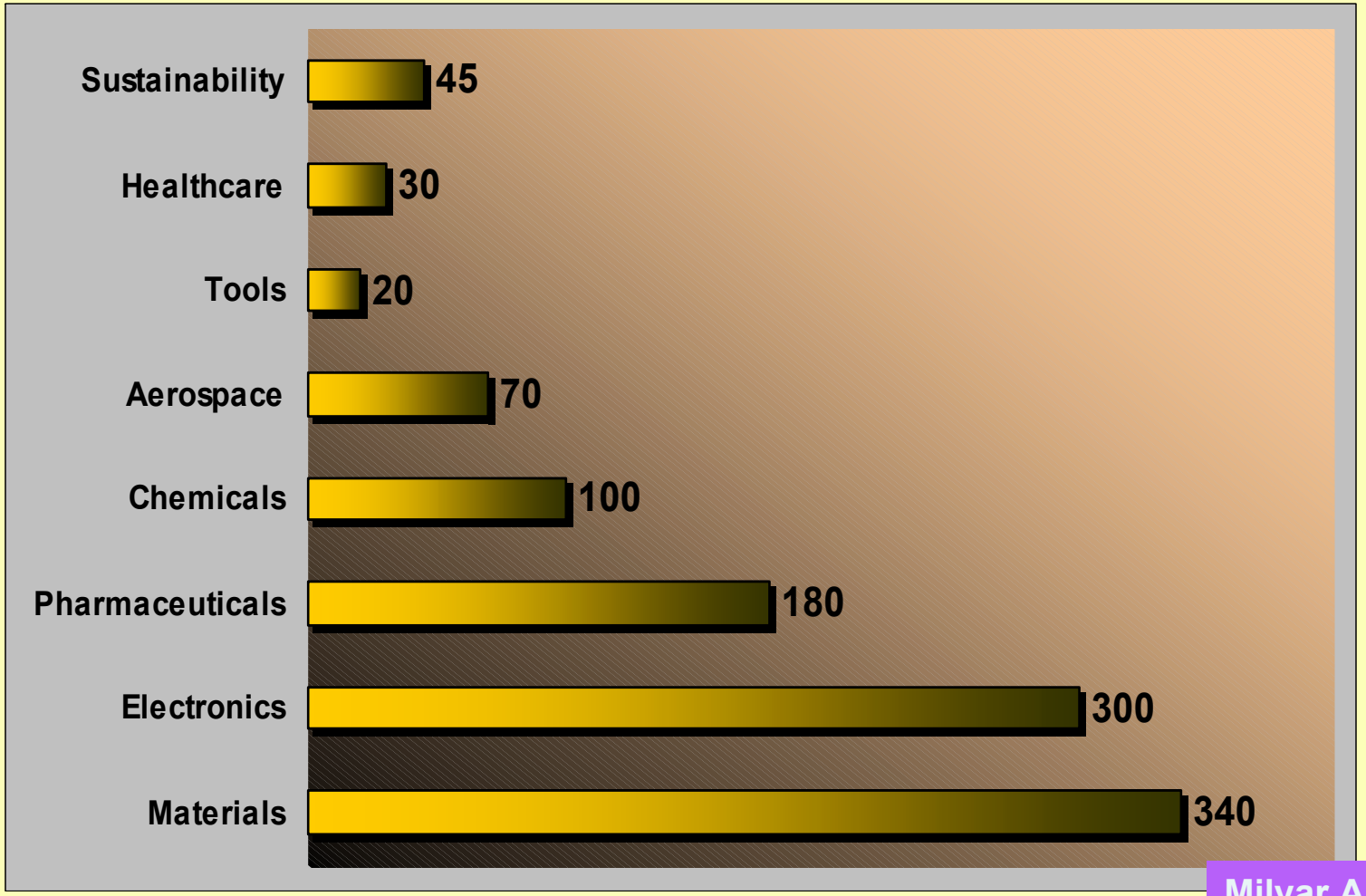
2008: $28,7 billion

yıllık %30,6 büyüme hızı

2015: $1 Trilyon
2025: $3 Trilyon



2015 yılında Nano pazarı?



Source: National Science Foundation

Neden nanoteknoloji endüstri için önemli?



Nano ürünler

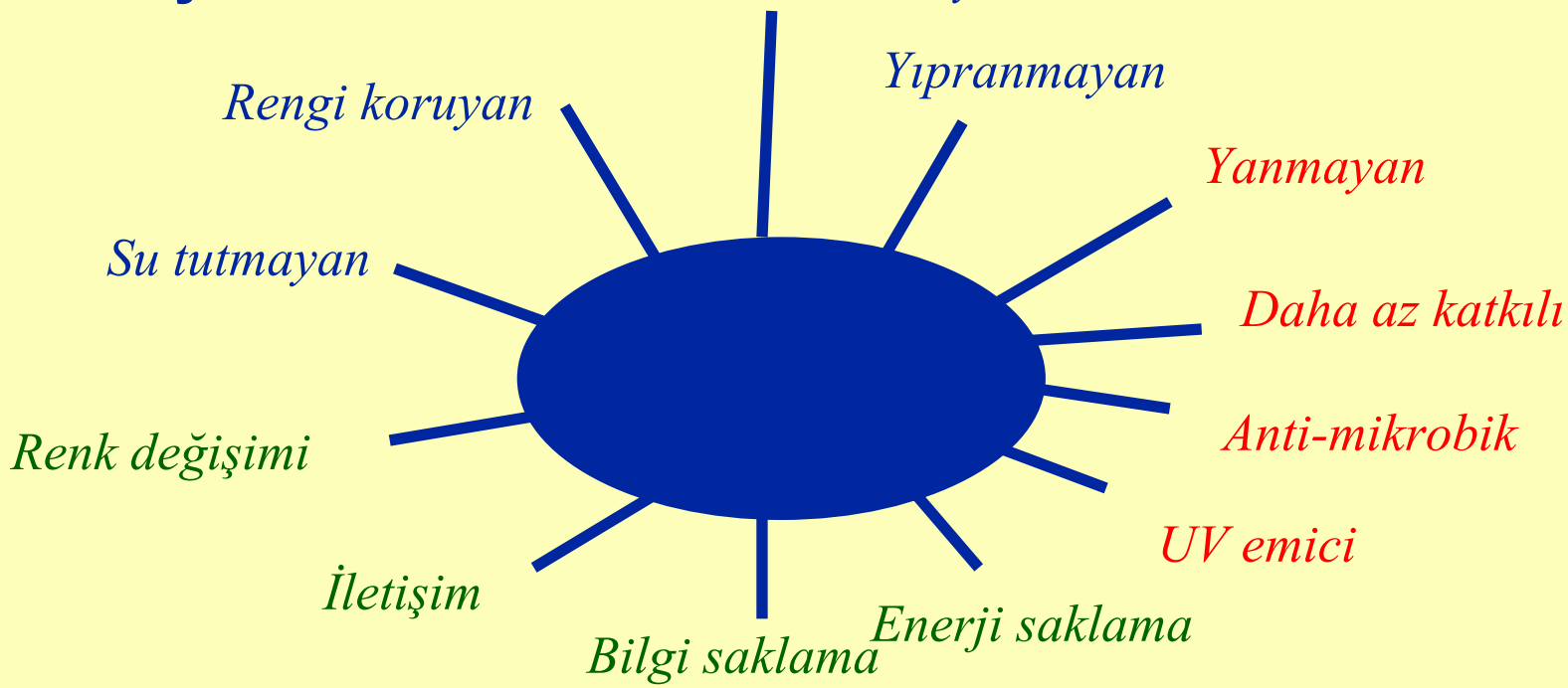
Nanoteknoloji ile üretilmiş ürünler biz farkında olmasak da hayatımızın önemli bir parçası haline gelmektedir.

1 – Organic Light Emitting Diodes (OLED)
2 – Fotovoltaik filmler
3 – Çizilmeyen ve kendini temizleyen cam
4 – Leke tutmayan kumaşlar
5 – Akıllı kumaşlar
6 – Bucky-tubeframe
7 – Bio-uyumlu implant
8 – Nano-parçacıklı boya
9 – Termo-kromik cam
10- Manyetik hafızalar
11- Karbo Nanotüp yakıt hücreleri

Nanoteknoloji tekstil

Daha iyi fonksiyonlar

Güvenlik



Yeni Özellikler

Leke tutmayan ve kırışmayan kumaşlar

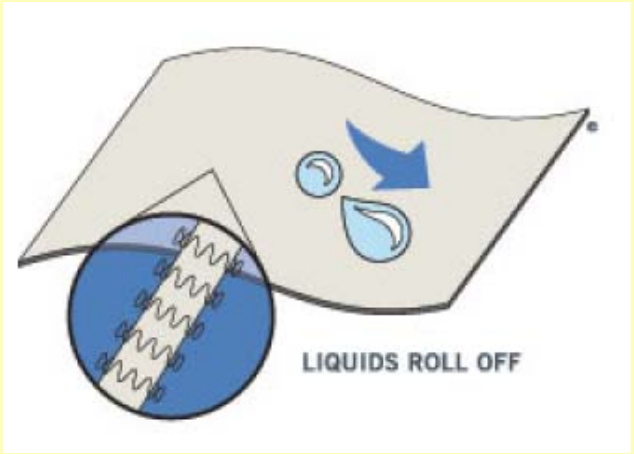
- **Dockers**
  - **'Go Khaki with Stain Defender', Nanotex ürünlerini kullanıyor.**
- **Levi's**
  - **DuPont Teflon (tavalarda kullanılan yapışmayan kaplama) kullanıyor.**
- **Nanotex, Nanosphere, Dupont**



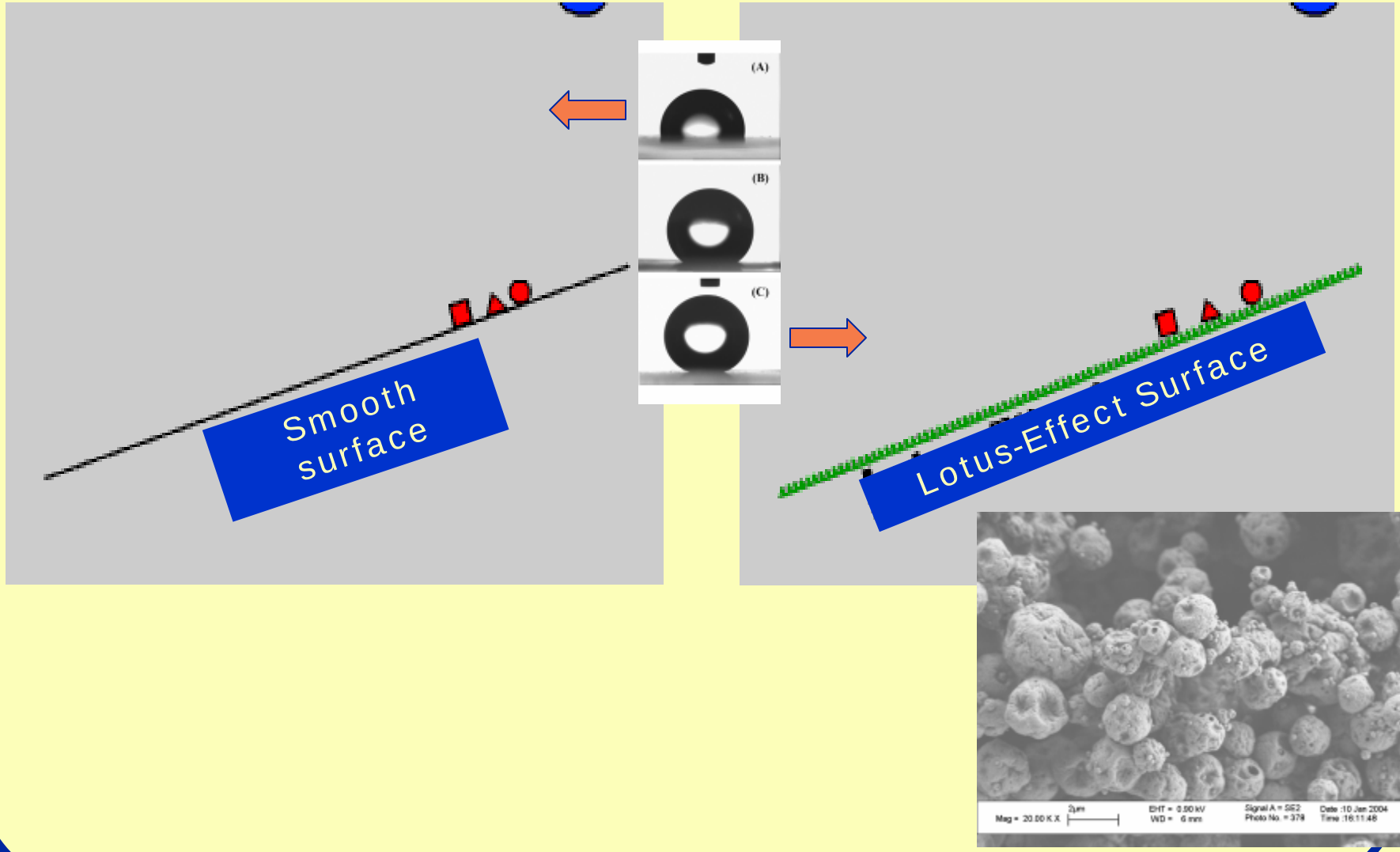


Nanotex malzemesi

- Kumaşın üzerine bir yalıtım tabakası yerine, fiberlerin içerisine su tutmayan nanoparçacıklar
- Pamuk ve sentetik fiberlerin nanoparçacıklar ile birleştirilip
  - hem yağ, sıvı veya polimer (kir) tutmayan,
  - hem de yapı oluştururken nemi vücuttan uzaklaştıran gözenekli bir yapı oluşturmasına dayanıyor.

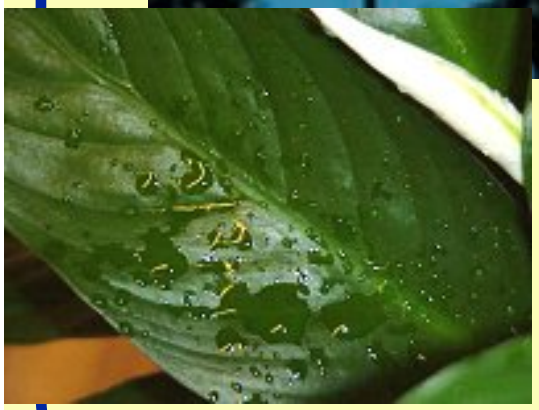


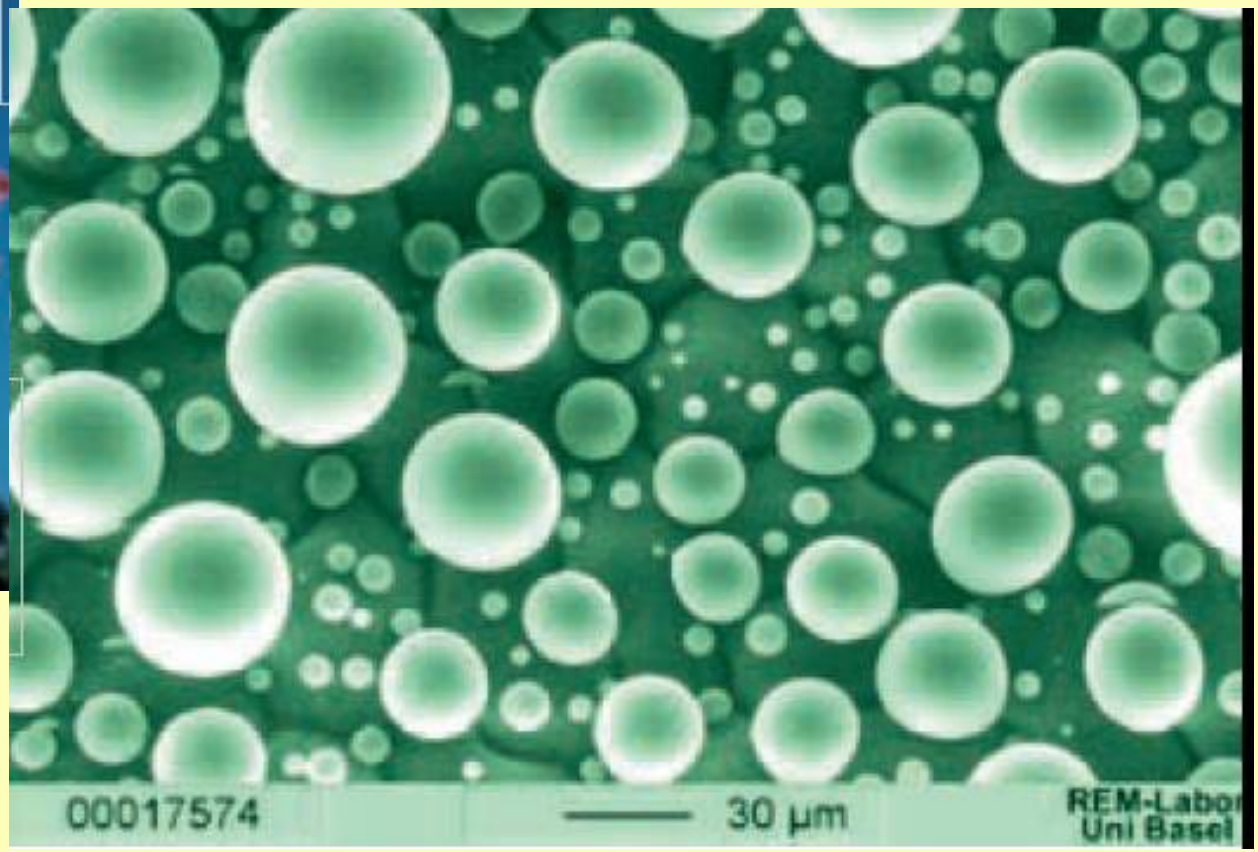
Su tutmayan nano kaplama



Lotus







Lotus yaprağında yağmur damlaları

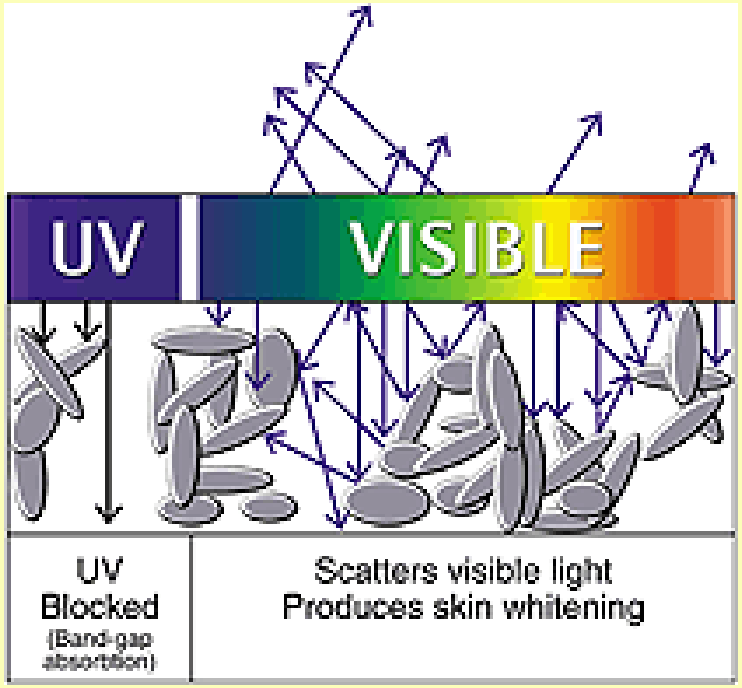
Anti-wrinkle cream (L'Oreal)

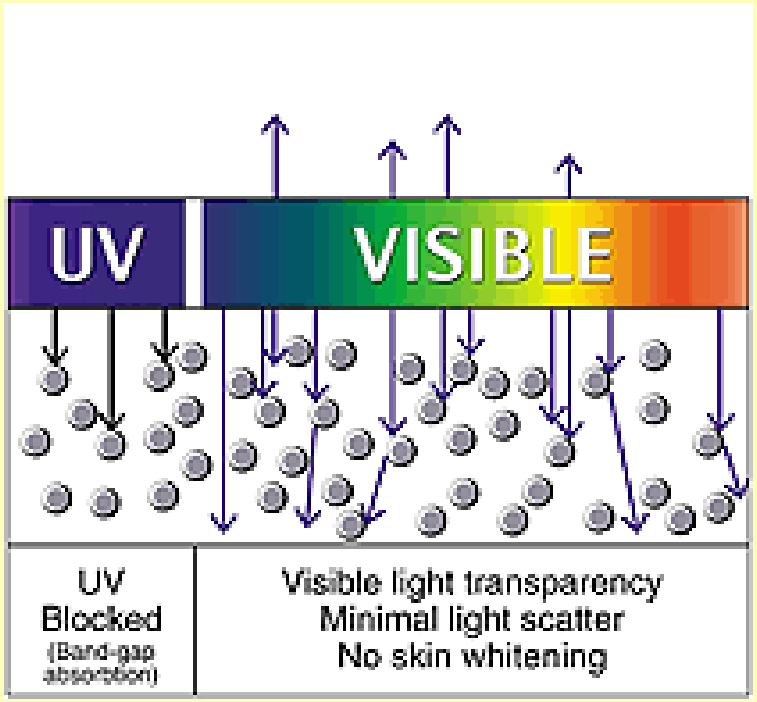


- Plenitude marka kozmetik ürünler nano-kapsüller içeriyor. Bu nano-kapsüller sayesinde aktif malzeme derinin daha derinliklerine inebiliyor.
- Bu aktif malzemeler nanoboyutlara indirildikten sonra bio- degradable bir polimer ile kaplanıyor.
- Oluşturulan nanokapsüller derinin ilk tabakalarından rahatlıkla geçebilecek boyutlarda oluyor.
- Derinin enzimleri nanokapsülün yüzeyini emince içerisindeki aktif malzeme derinin daha alt tabakalarına yayılıyor.
- 1995'den beri piyasada.



UV engelleme (Advanced Nano)





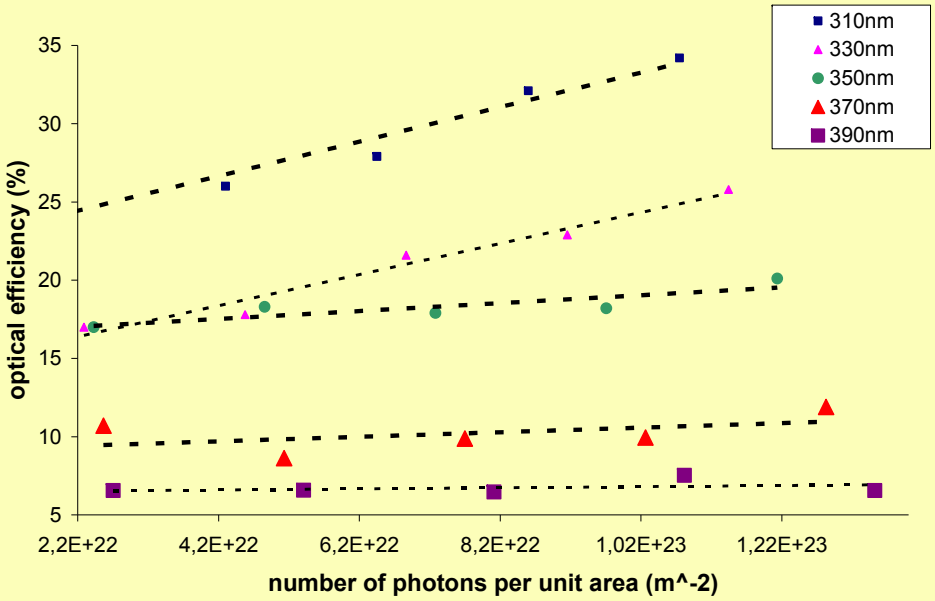
Çinko oksit boyutları sayesinde UVB ve UVA zararlı ışıklarını geçirmez.

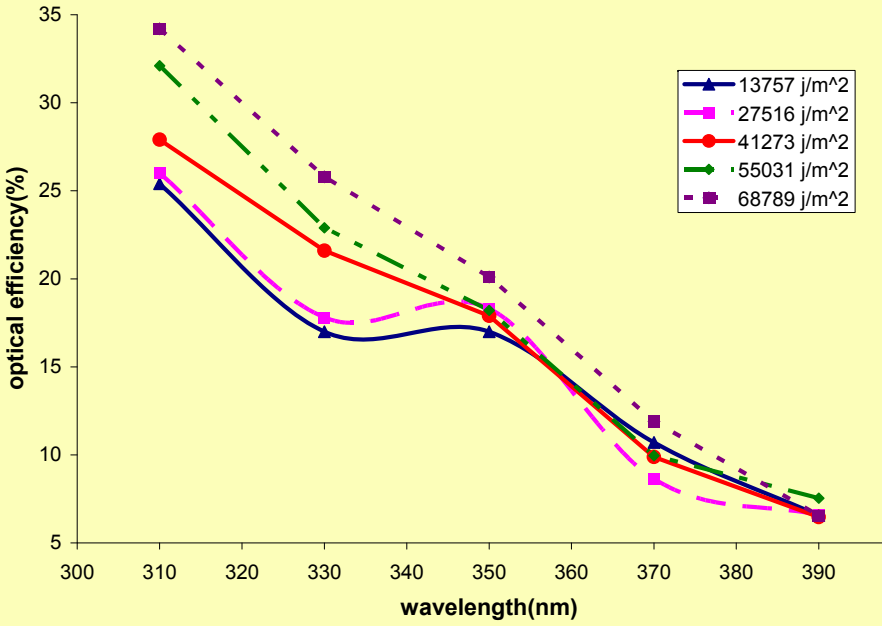
Güneş Kremleri sonucunda ortaya çıkan beyazlık oluşmaz.



DYO-Bilkent ortak çalışmalar







- DYO ile yürütülen ortak bir proje çerçevesinde nanoparçacıkların fotokatalitik etki ile yüzey temizleme performanslarının en optimum olduğu dalga boyunu nanoparçacık boyutuna bağlı olarak belirledik.
- DYO--Bilkent ortak patent başvurusu

Bayanlar için nano ...



Kendini temizleyen ve ışığı ayarlayan gözlükler

Anti-wrinkle krem

Daha iyi güneş kremi

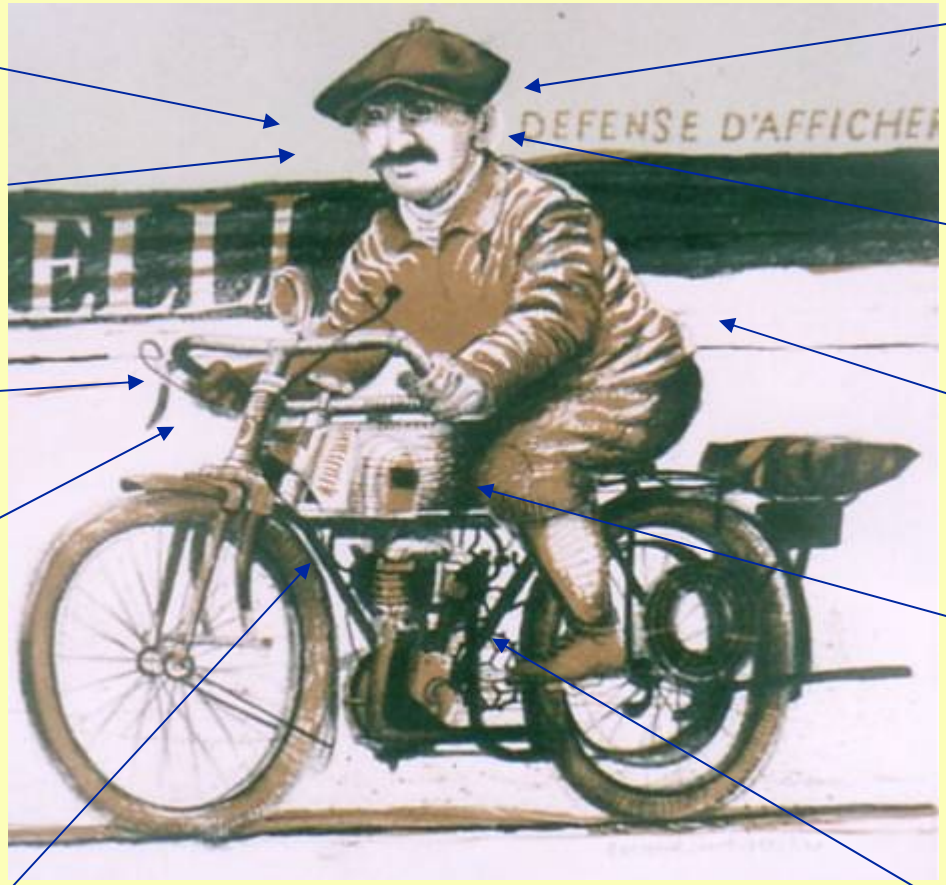
Koku gideren çoraplar

Eskimeyen ayakkabılar

Leke tutmayan ve buruşmayan kumaş

Nanotüpler ile güçlendirilmiş raket

Ve baylar için!!



Geçirgenliği ayarlanan gözlükler

Anti dry skin

Su tutmayan kumaş

Akıllı yelek (smart vest)

Kendini temizleyen yüzeyler

Şoka dayanıklı kask

Mikrovizyon

Vücut Isıtıcı

Yakıt katkıları

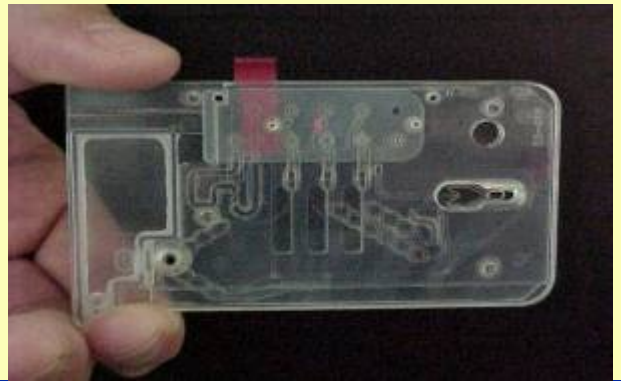
Nanosensörler

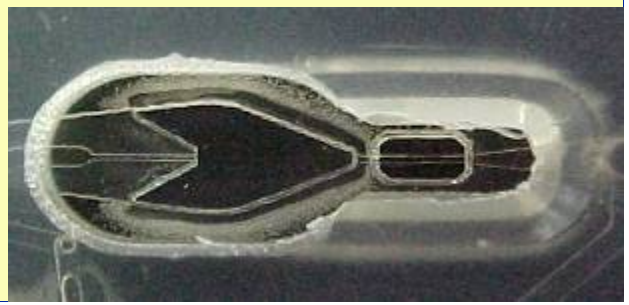
Nanotıp ve genetik

- **DNA "microchip" dizinleri**
  -Taşıyıcı akımlar birbirine karışmadan moleküler seviyede aktarım
- **Yarıiletken nanokristaller kullanarak fluorosan biyolojik işaretleme**
- **'Gen tabancaları' nanoparçacık kullanarak genetik malzemeyi hedef hücrelere iletmek**



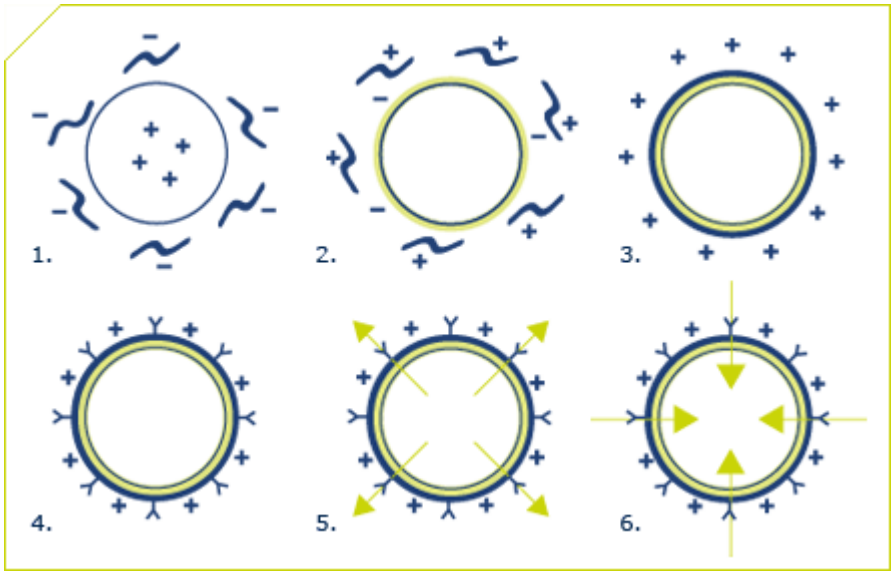






Biyonanoteknoloji: İlaç iletimi ve görüntüleme

Capsulution®

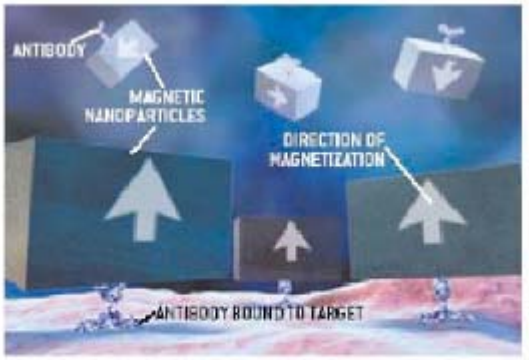


- **Nanokapsüllerin Üretimi**

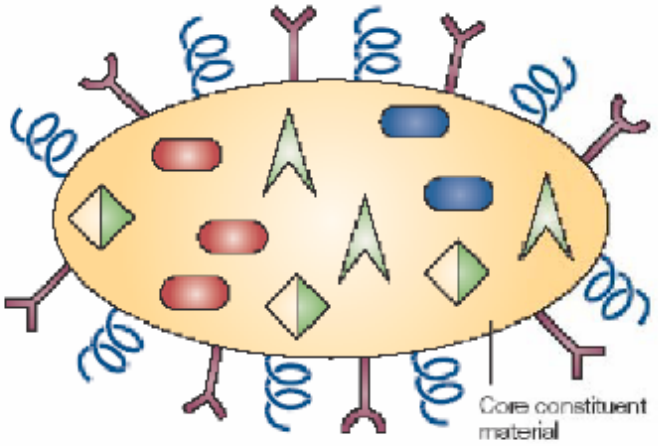


Biyonanoteknoloji: İlaç iletimi ve görüntüleme

- **İlaç İletimi**
  -Lipozomlar
  -Akıllı polimerler
  -Dendrimerler
- **Görüntüleme**
  -Nanokapsüller
  -Nanoparçacıklar
- **Prof. Dr. Mihri Özkan, Kaliforniya Üniversitesi-Bilkent**
- **Gazi-Bilkent DPT Nanotıp ortak proje**

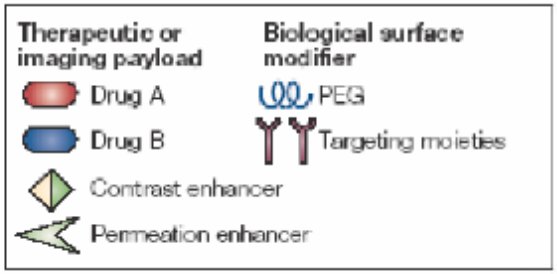


Antigen-bound magnetic particles

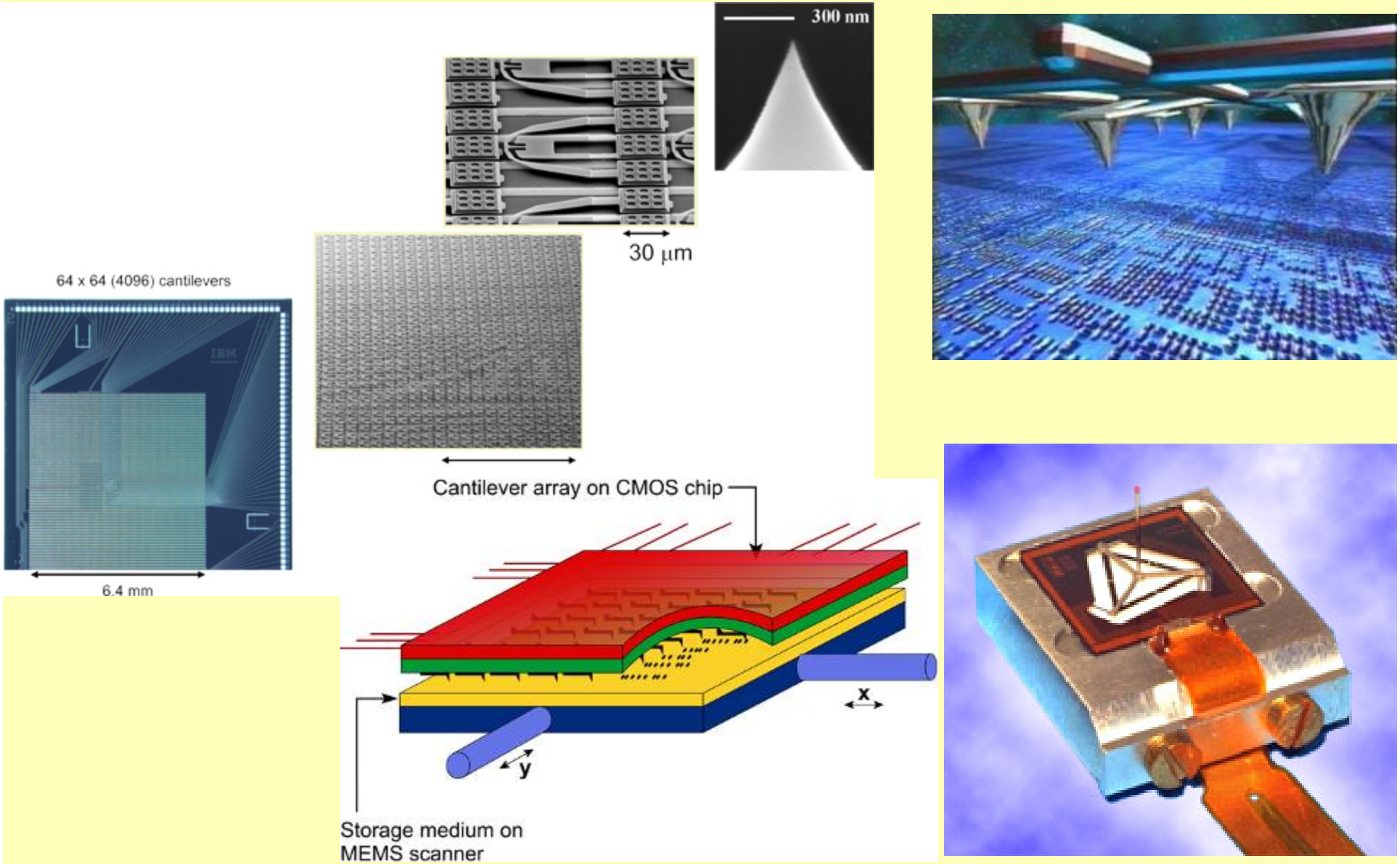


Nathaniel G. Portney · Mihrimah Ozkan

Nano-oncology: drug delivery, imaging, and sensing

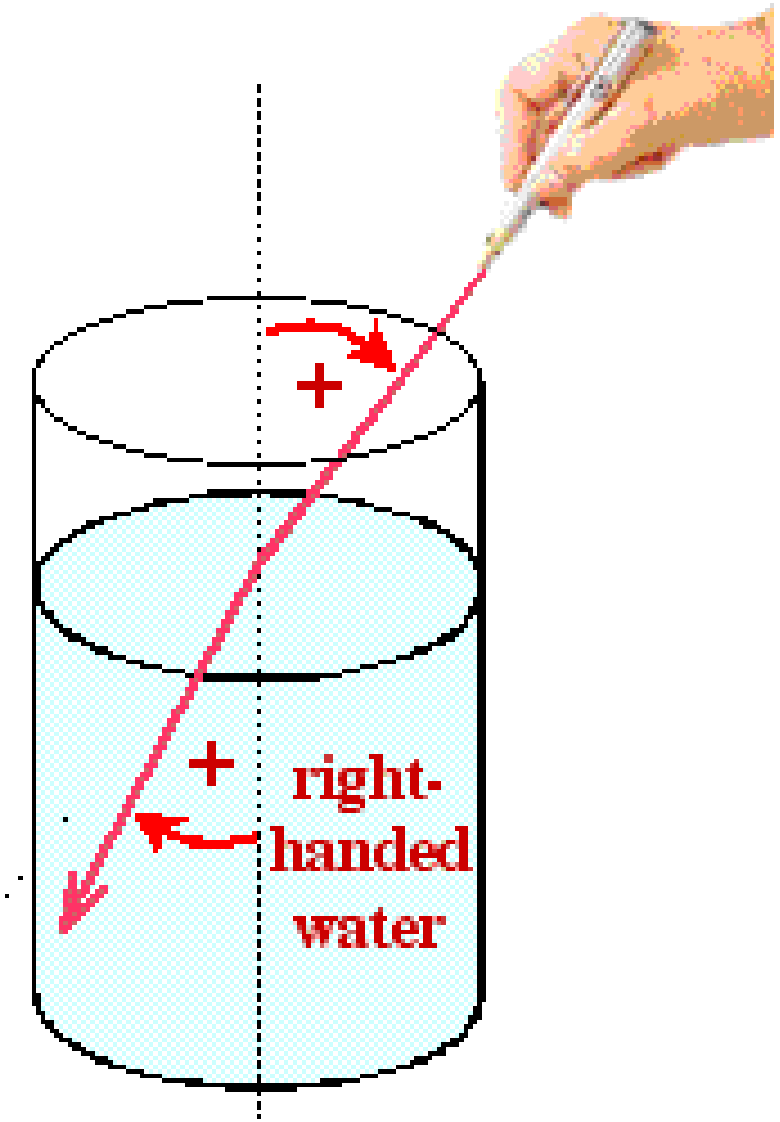


Nano seviyede data saklama (IBM Millipede projesi)

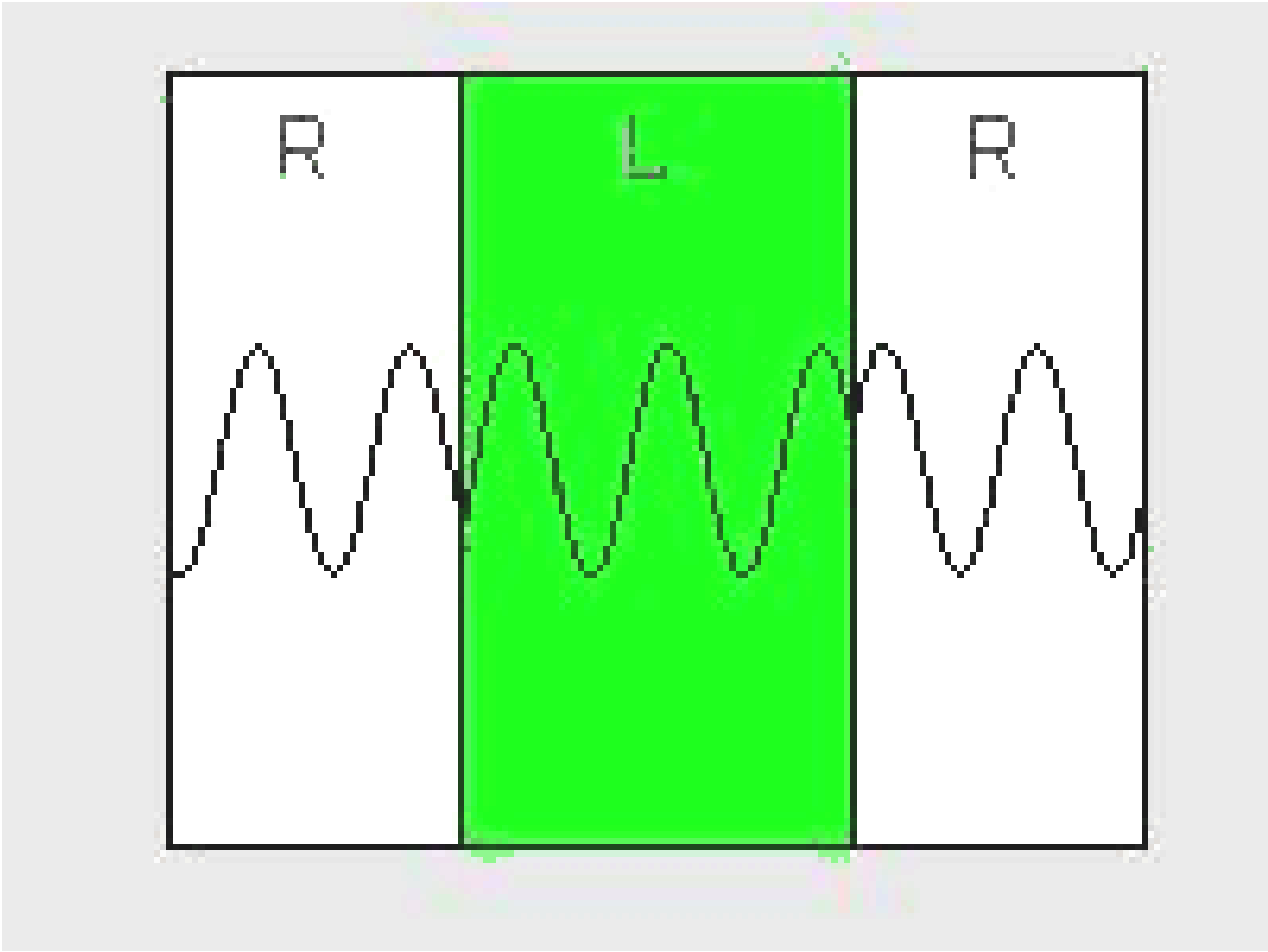


A nanomechanical AFM-based data storage system

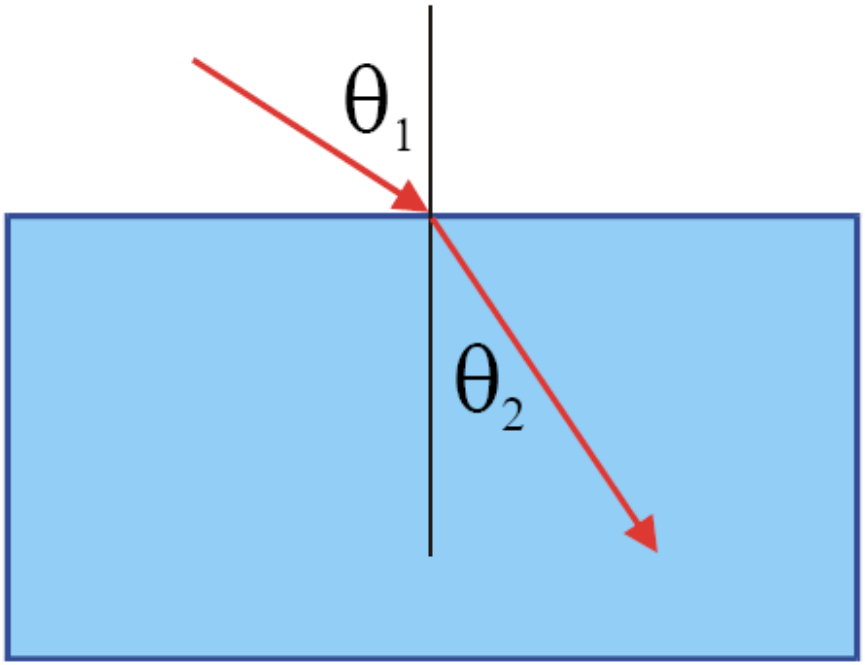
Metamalzemelerin Sihirli Dünyası: Işığın ters yönde kırılması



Negatif Işık Hızı?



Negatif Kırılma İndeksine Sahip olan malzemeler olabilir mi?



Snell's law states:

$$n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$$

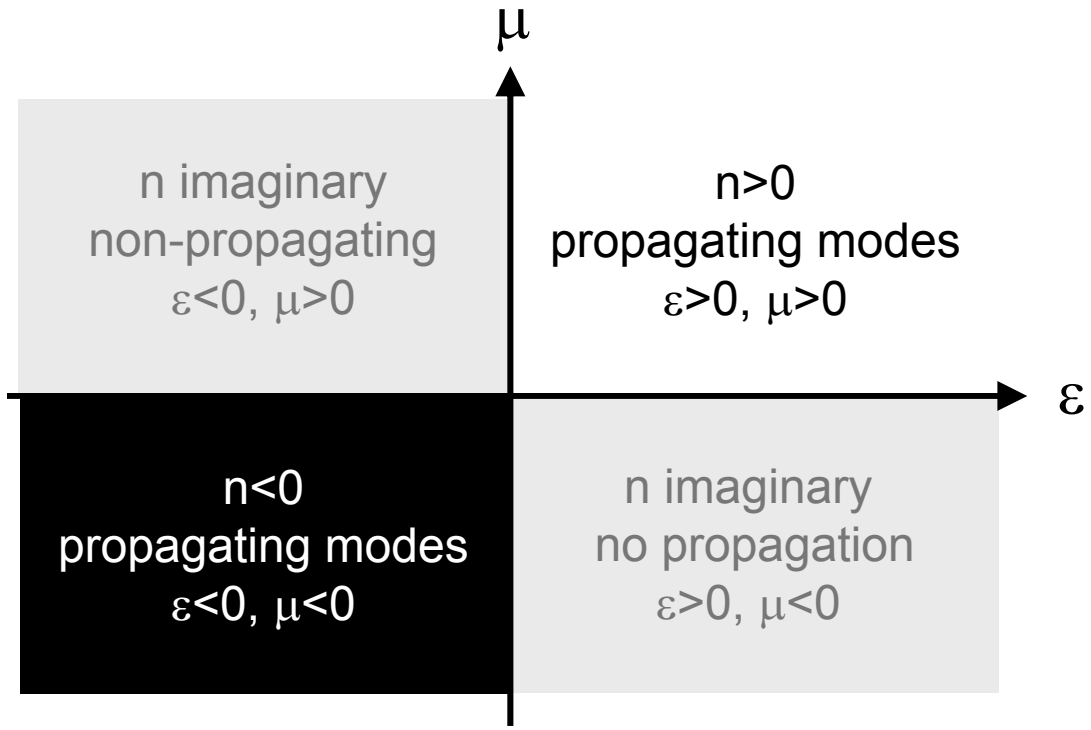
where n is the refractive index of the material



Willebrord Snell van Roijen (or Snellius) (1580- 1626)

Nasıl negatif kırılma elde ederiz?

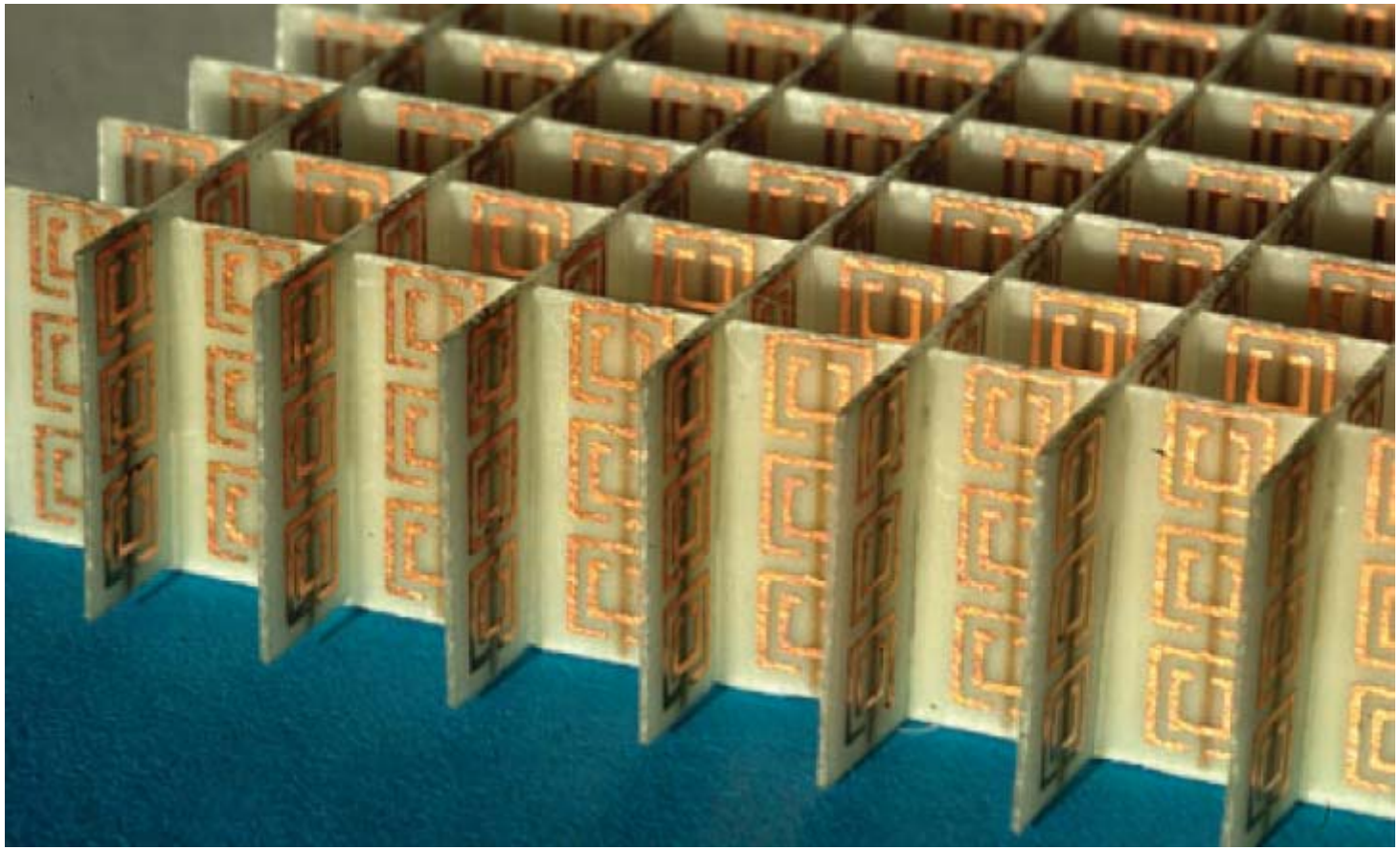
$$n = \pm\sqrt{\varepsilon\mu}$$



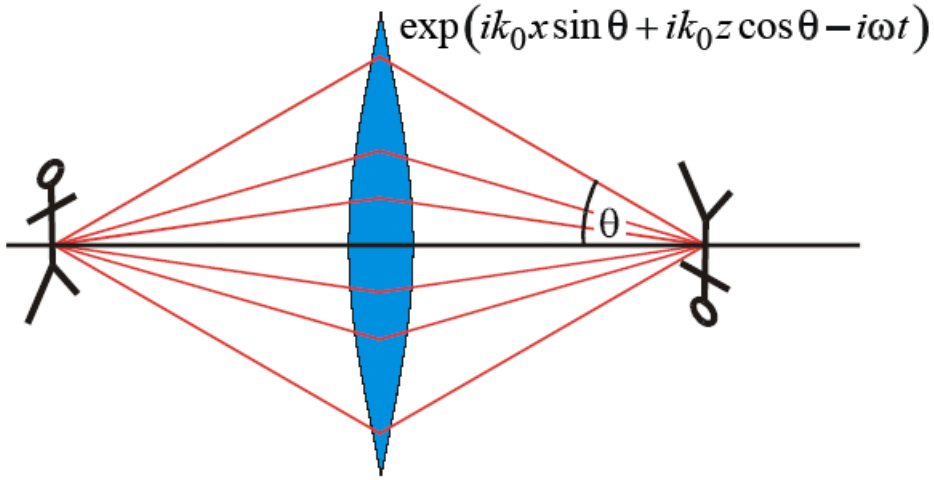
- 1968'de teorik olarak öneriliypr (Veselago et al. Sov. Phys. Usp. 10, 509 (1968)
- ε<0, μ<0 malzeme yok
- 30 yıl bekleyen bir rüya

Bilkent Üniversitesi NANOTAM Nanoteknoloji Araştırma Merkezi

İki malzeme birleştirilince negatif indeksli metamalzemeler ortaya çıkar



Normal merceklerin ötesinde çözünürlük: SÜPERMERCEK

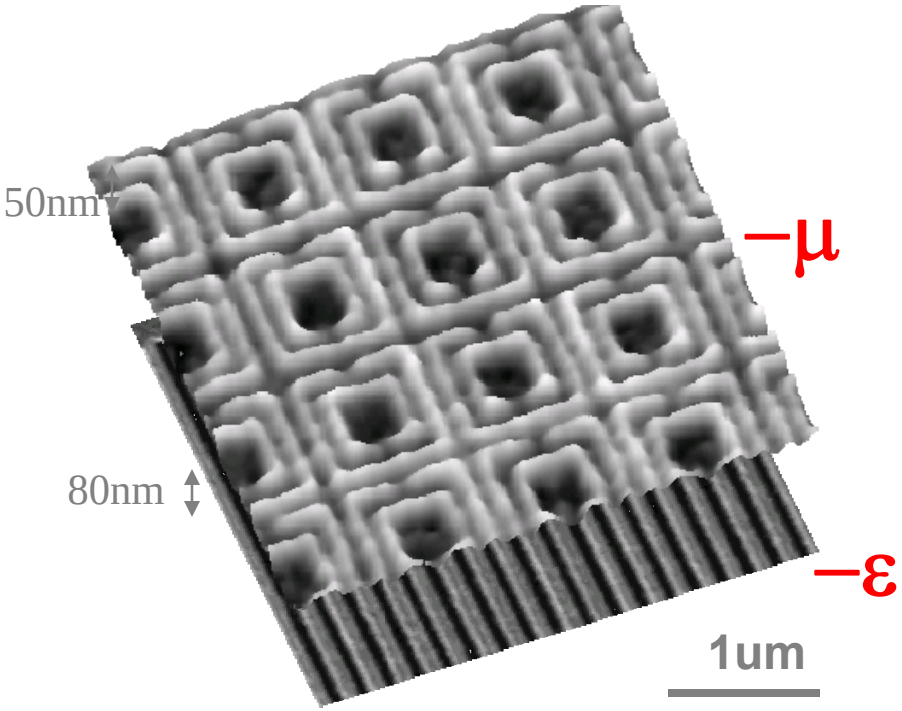


- Pozitif lenslerde çözünürlük limiti ~λ
- 400-700 nm görünür dalga boyları
- Bu nedenle bir mikroskop altında molekülleri göremeyiz
- n=-1 malzemesinden yapılan bir negatif lens ile sınırsız çözünürlük
- En ince ayrıntısı ile görüntü
- Mükemmel lens

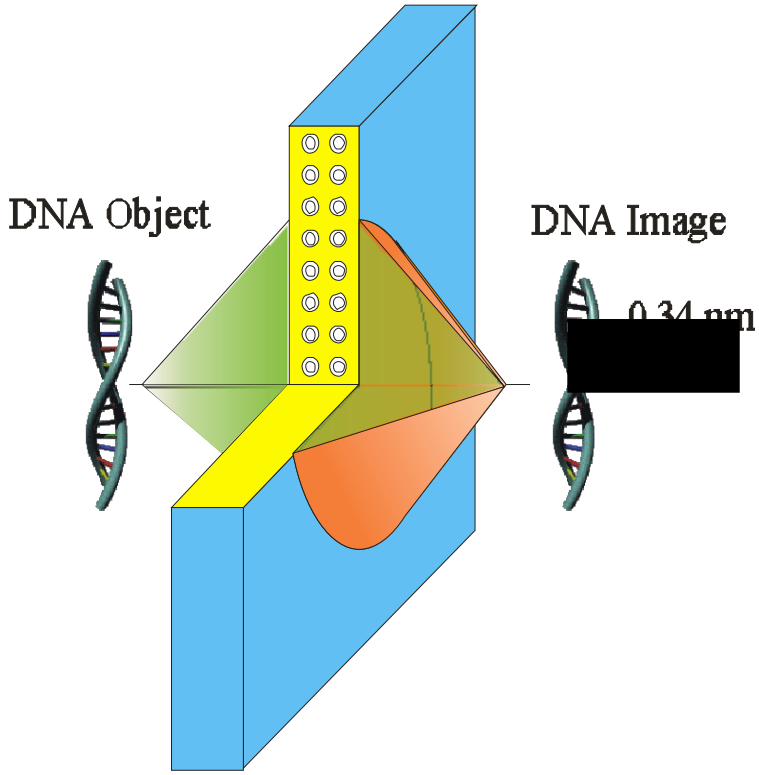
Başka ilginç özellikler:
1) Inverse Doppler Effect
2) Inverse Cherenkov Radiation

Süper Mercek ile Molekülleri Görebiliriz.

Nanoteller ve Nano-SRR



Moleküler Optik Görüntüleme



Metamalzemeler kullanarak DVD kapasitesi 10,000 kat arttırabilir



Bilkent Üniversitesi NANOTAM Nanoteknoloji Araştırma Merkezi

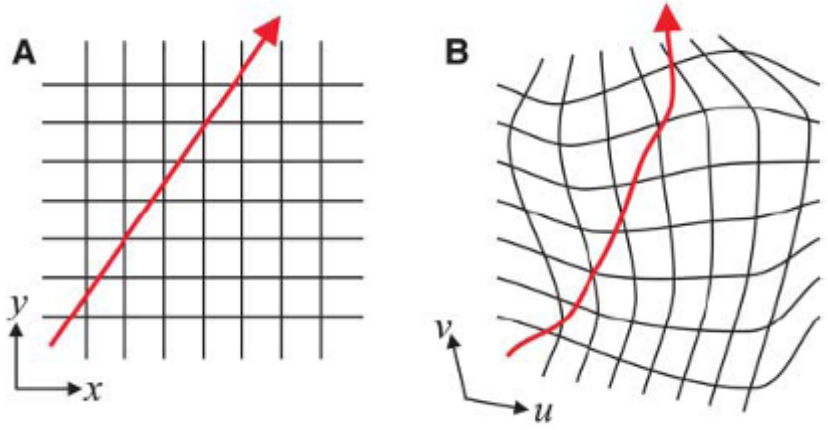
Sihirli Metamalzemeler: Görünmezlik pelerini?



Arka taraftaki kamera ile Göz Aldatma



Görünülmezlik Pelerini (Cloaking)

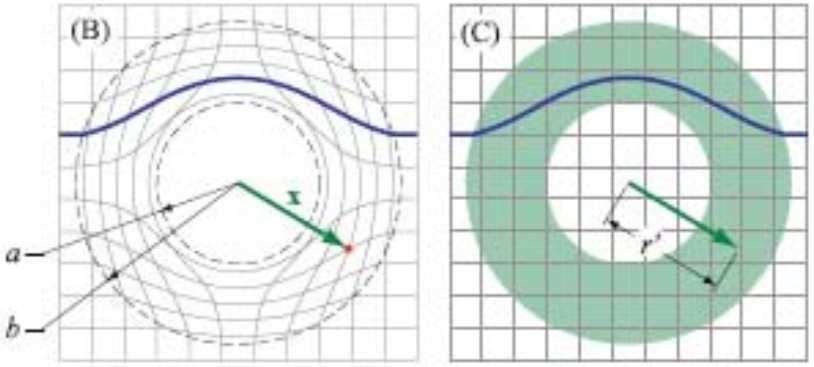


Pendry *et al.*, Science, (2006)

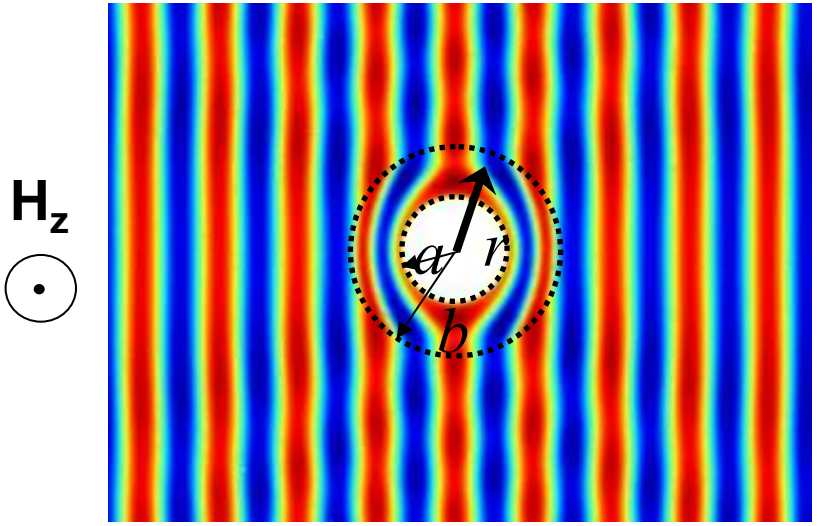
$$\varepsilon_z = \mu_z = \left(\frac{b}{b-a}\right)^2 . \frac{r-a}{r}$$

$$\varepsilon_r = \mu_r = \frac{r-a}{r}$$

$$\varepsilon_\theta = \mu_\theta = \frac{r}{r-a}$$

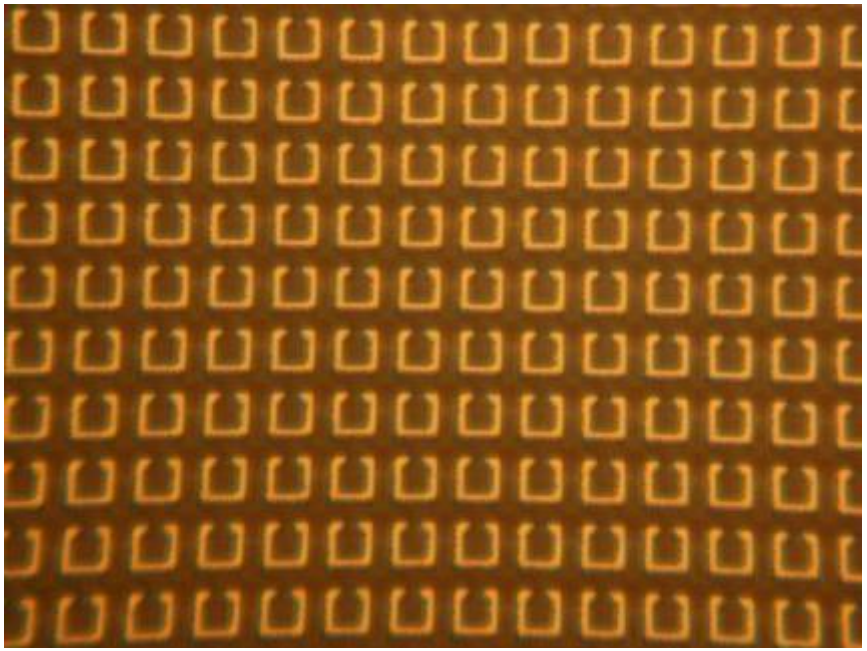


Schurig *et al.*, Opt. Exp., (2006)



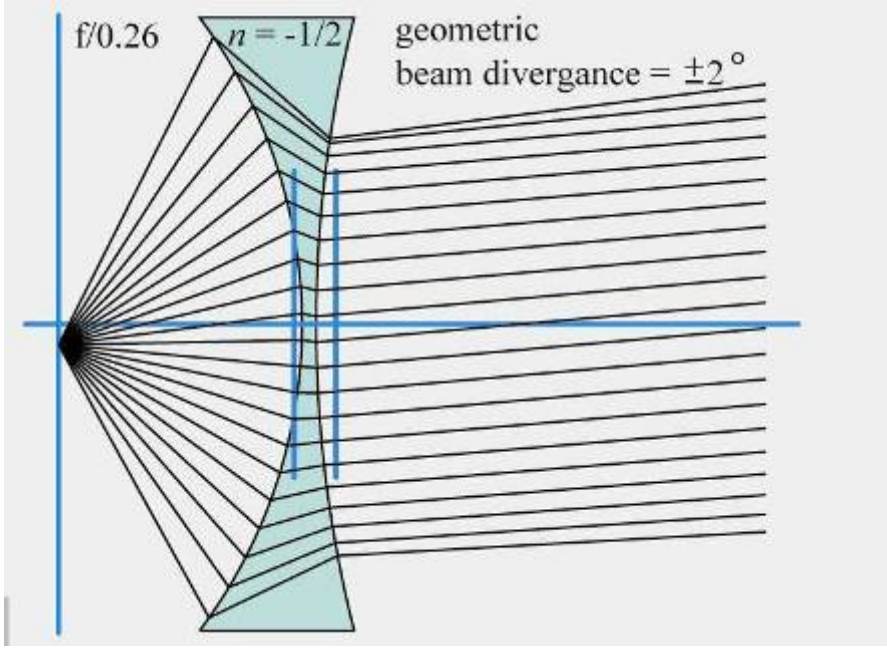
Bilkent Üniversitesi NANOTAM Nanoteknoloji Araştırma Merkezi

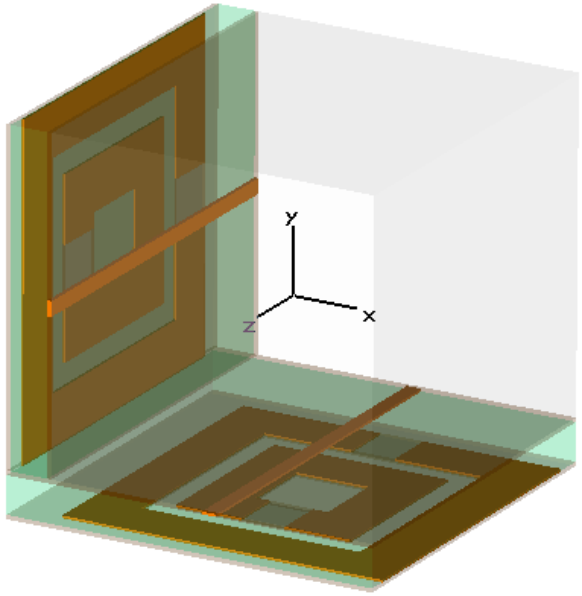
Metamalzemeler kullanarak bir yüzeyden yayılan termal radyasyon kontrol altına alınabilir (Gece görüş sistemleri)



- 6 THz SRR yapısı
- FORTH ve Bilkent
- Yüzeyden yayılan radyasyonun kontrolu
- Yönlendirilmiş ışık kaynakları
- Güvenlik, Astronomi, Görüntüleme

Metamalzemeler kullanarak uydu, iletişim sistemleri ve cep telefonu antenleri çok daha küçük boyutlarda yapılabilir

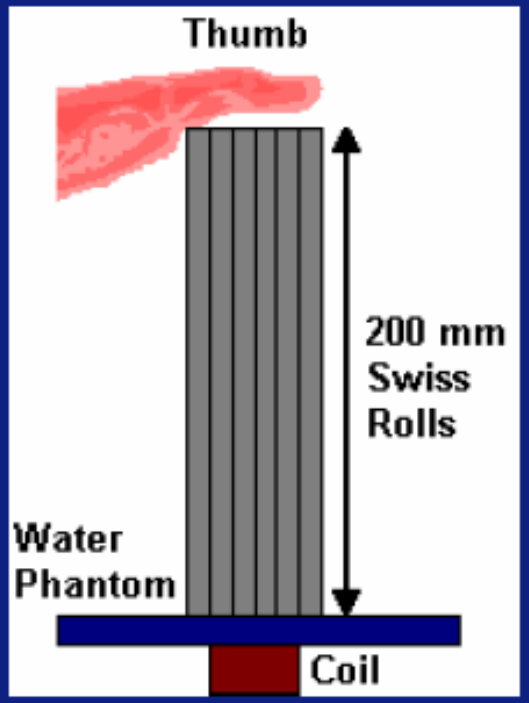




Wwire = 0.100mm
Wring = 0.350mm
Gapa = 0.350mm

Metamalzemeler ile daha net MRI görüntüsü alınabilir

Swiss Rolls in MRI – first demonstration



Schematic layout



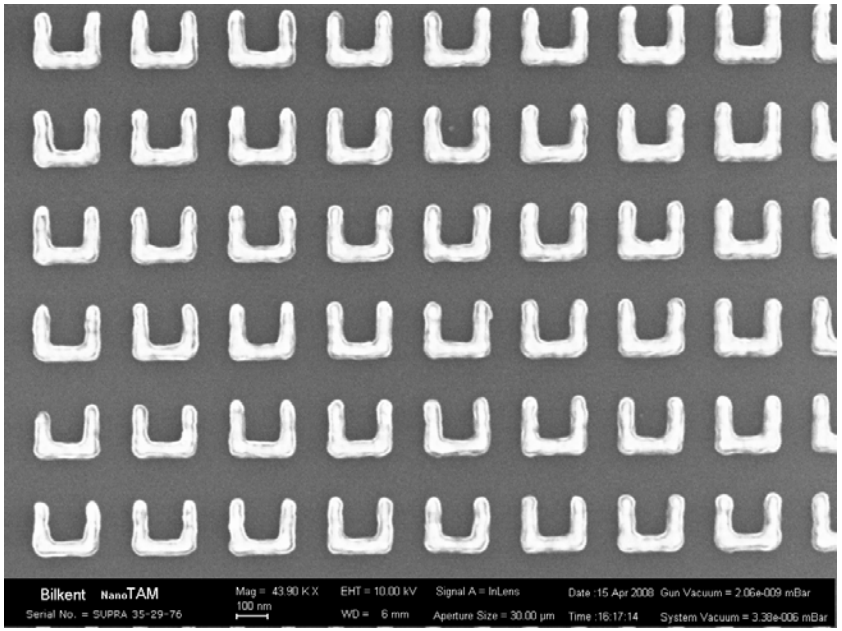
Without
Swiss Rolls

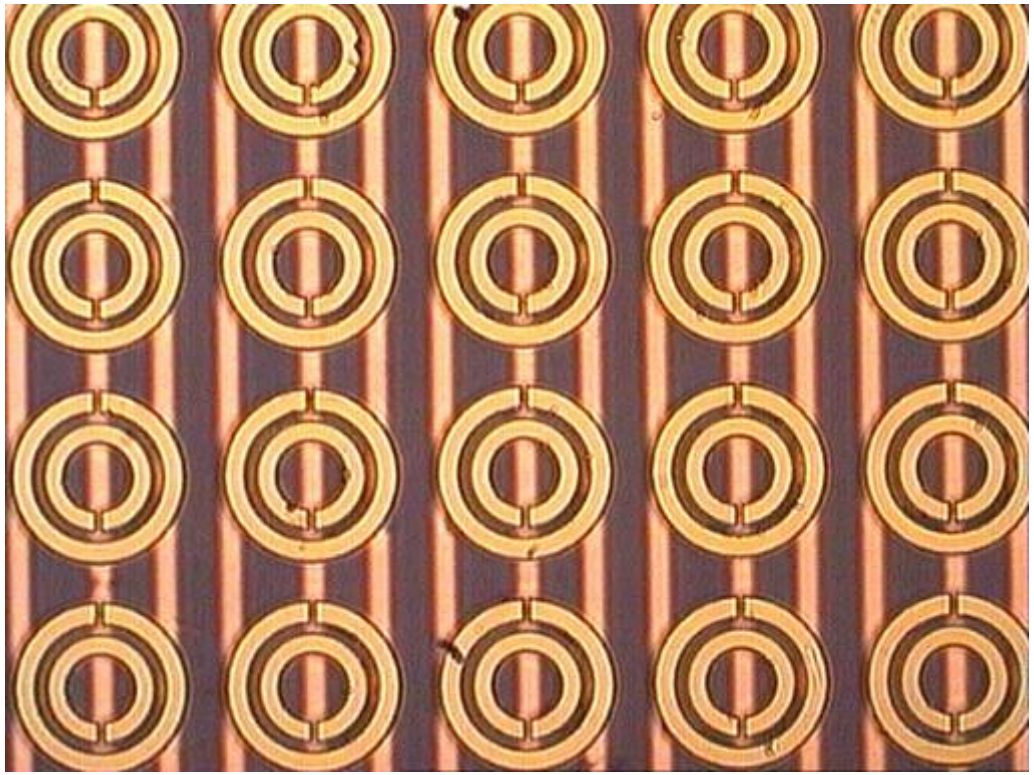


With
Swiss Rolls

- **Swiss Rolls acted as an RF Flux Duct, but all spatial information was obtained from the MRI encoding**

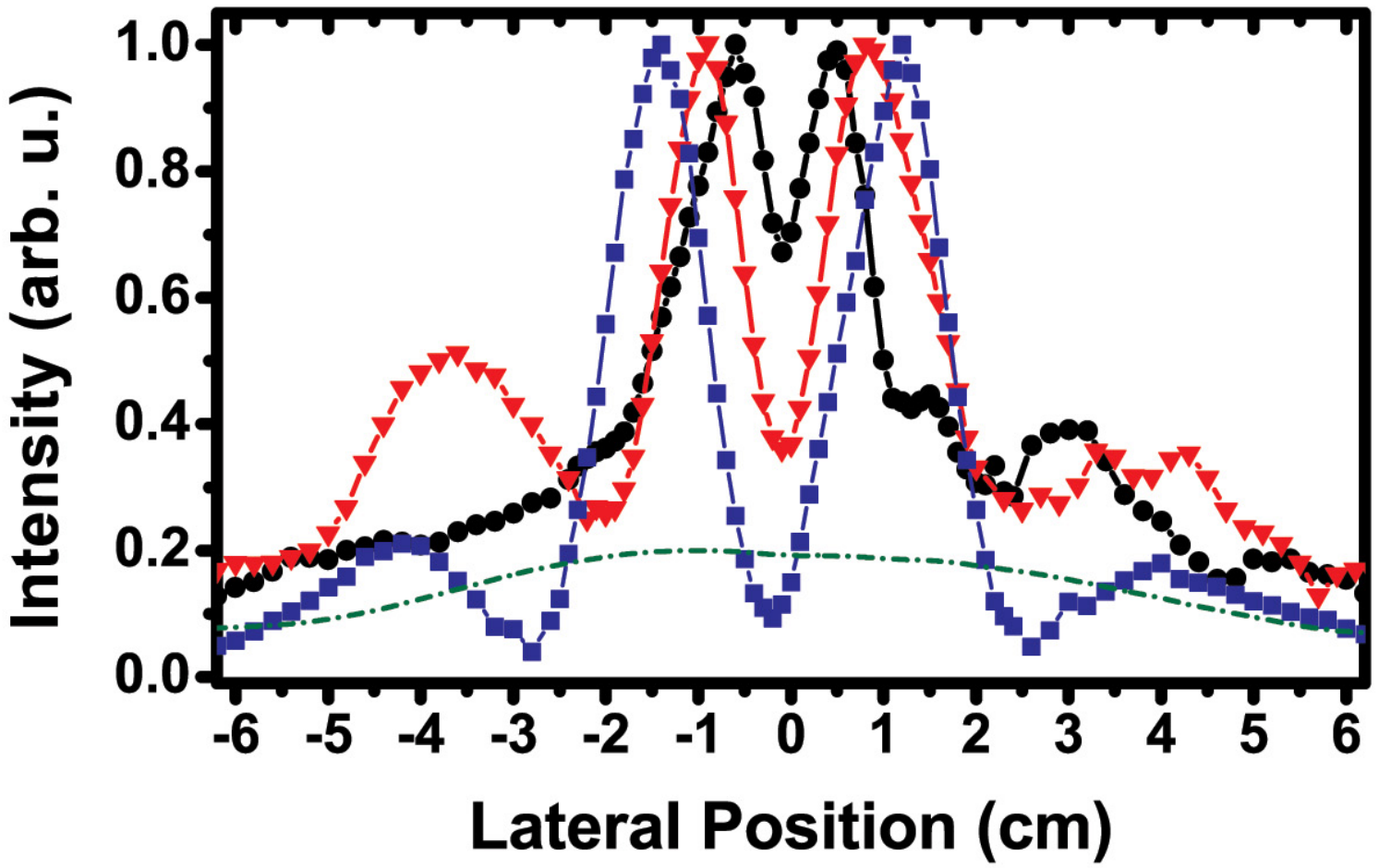
Bilkent'de üretilen Metamalzeme Örnekleri





Kompozit Metamalzeme

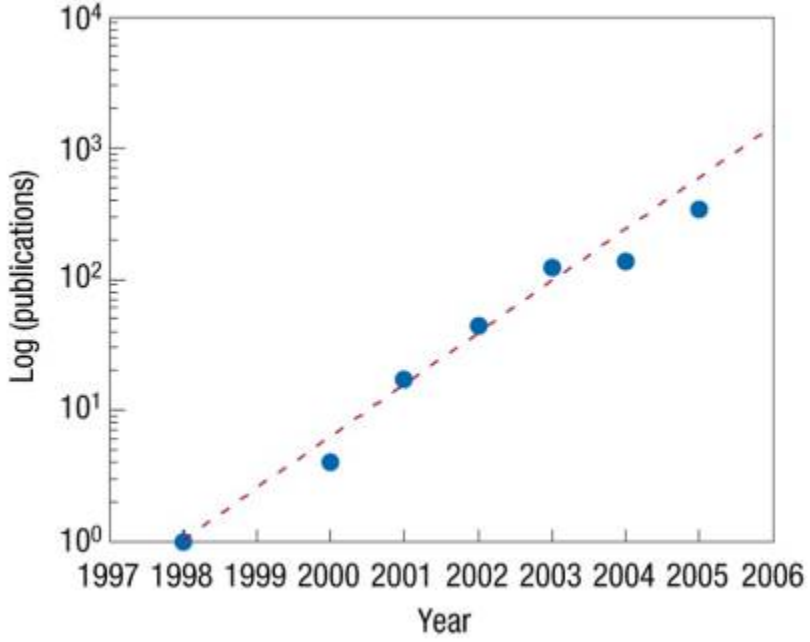
Metamalzemeler kullanarak rekor çözünürlük: λ/8



Koray Aydin, Irfan Bulu, and Ekmel Ozbay, APL 2007

Yeni bir araştırma alanı: Metamalzemeler

- Yeni ve gelişen bir araştırma alanı
- 2008 yılında ~75 metamalzemeler ile ilgili konferanslar düzenlendi
  - Fizik (APS, EPS, …)
  - Elektrik Elektronik Mühendisliği (IEEE, …)
  - Optik (OSA, SPIE, CLEO,…)
  - Malzeme Bilimi (MRS, …)
  - Anten ve atmosfer bilimleri (APS, URSI, ICEAA, …)
- Disiplinler arası yeni bir araştırma alanı



EU DESCARTES PRIZE FOR RESEARCH 2005 goes to



Extending Electromagnetism through Novel Artificial Materials (EXEL)

Partner-1: Prof. Ekmel Ozbay, Bilkent University, TURKEY

Partner-2: Prof. Costas M. Soukoulis Prof. Eleftherios N. Economou, FORTH, GREECE

Partner-3: Prof. Sir John Pendry and Dr. Mike Wiltshire, Imperial College, UK

Partner-4: Prof. David Smith, Duke University, USA

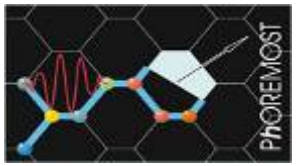
Partner-5: Prof. Martin Wegener, U.of Karlsruhe, GERMANY

Avrupa Birliğinin verdiği en prestijli bilim ödülü

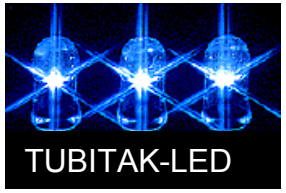








- FP5 EU-DALHM (Development and Analysis of Left Handed Metamaterials) 2002-2006
- FP6, EU-METAMORHPOSE (MetaMaterials ORganized for radio, millimeter wave, and PHOtonic Superlattice Engineering) NoE, 2004-2008
- FP6, EU-PHOREMOST(Nanophotonics to realize Molecular-Scale Technologies) NoE, 2004-2008



- TUBITAK (GaN Based Light Sources for Informatics, Optoelectronics, and Nanophotonics Applications) (2005-2008)



- Turkish Defense Department (MSB ArGe) (2004-2007)
- ASELSAN and SSM (2004-2008)

Bilkent Üniversitesi NANOTAM Nanoteknoloji Araştırma Merkezi

Neden Nanoteknoloji?





10^{20} molekül/gram

İnsan beyni 10^{13} byte



Daha yoğun hafıza kapasitesi

Özbay Grup Üyeleri: Çalışmaların gerçek kahramanları

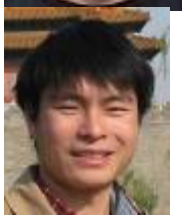


Araştırmacılar

- Doç. Dr. Kaan Güven
  - Ph.D. Bilkent 1999, MaxPlanck Institute
- Dr. Mutlu Gökkavas
  - Ph.D. Boston University 2001, New Focus Research
- Dr. Gonca Özkan
  - Ph.D. METU 1995, Indiana University
- Dr. Engin Arslan
  - Ph.D. 2005 Hacettepe Uni.
- Dr. Zhaofeng Li
  - Ph.D. 2002, Beijing Univ.







Bilkent NANOTAM – Proje Mühendisleri

- Erkin Ülker



- Deniz Çalışkan



- Tolga Yelboğa



- Mustafa Öztürk



- Evren Öztekin



- Doğan Yılmaz



- Özgür Kelekçi



- Günay Akdoğan



- Başar Bölükbaş



- Burak Turhan



- Hüseyin Çakmak



- Sıla Kural



- Kaan Demirel



Bilkent NANOTAM – Lisans Üstü Öğrenciler

- Hümeyra Çağlayan
- Bora Alıcı
- Serkan Bütün
- Bayram Bütün
- Turgut Tut
- Atilla Özgür Çakmak
- Evrim Çolak
- Levent Şahin
- Şerafettin Bilge
- Yusuf Özturk
- Muhammed Acar
- Neval Yılmaz












NANOTAM Merkez Binası (Nisan 2009)



Bilkent NANOTAM

Öğrencilerimizin başarısı ile övünüyoruz



MEZUNLAR

- **Dr. Burak Temelkuran (Bilkent Doktora 2000, MIT, Omniguide)**
  15 SCI Makalesi

Bilkent NANOTAM

Öğrencilerimizin başarısı ile övünüyoruz



MEZUNLAR

- **Dr. Burak Temelkuran (Bilkent Doktora 2000, MIT, Omniguide)**
  15 SCI Makalesi
- **Yard. Doç. Dr. Mehmet Bayındır (Bilkent Doktora 2002, MIT, Bilkent)**
  18 SCI Makalesi



Bilkent NANOTAM

Öğrencilerimizin başarısı ile övünüyoruz



MEZUNLAR

- **Dr. Burak Temelkuran (Bilkent Doktora 2000, MIT, Omniguide)**
  15 SCI Makalesi
- **Yard. Doç. Dr. Mehmet Bayındır (Bilkent Doktora 2002, MIT, Bilkent)**
  18 SCI Makalesi
- **Dr. Necmi Bıyıklı (Bilkent Doktora 2004, Cornell)**
  19 SCI Makalesi





Bilkent NANOTAM

Öğrencilerimizin başarısı ile övünüyoruz



MEZUNLAR

- **Dr. Burak Temelkuran (Bilkent Doktora 2000, MIT, Omniguide)**
  15 SCI Makalesi
- **Yard. Doç. Dr. Mehmet Bayındır (Bilkent Doktora 2002, MIT, Bilkent)**
  18 SCI Makalesi





- **Dr. Necmi Bıyıklı (Bilkent Doktora 2004, Cornell)**
  19 SCI Makalesi
- **Dr. İbrahim Kimukin (Bilkent Doktora 2005, Carnegie Mellon)**
  19 SCI Makalesi



Bilkent NANOTAM

Öğrencilerimizin başarısı ile övünüyoruz



MEZUNLAR

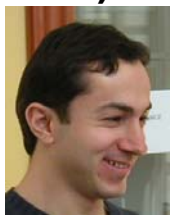
- **Dr. Burak Temelkuran (Bilkent Doktora 2000, MIT, Omniguide)**
  15 SCI Makalesi
- **Yard. Doç. Dr. Mehmet Bayındır (Bilkent Doktora 2002, MIT, Bilkent)**
  18 SCI Makalesi





- **Dr. Necmi Bıyıklı (Bilkent Doktora 2004, Cornell)**
  19 SCI Makalesi
- **Dr. İbrahim Kimukin (Bilkent Doktora 2005, Carnegie Mellon)**
  19 SCI Makalesi





- **İrfan Bulu (Bilkent Doktora 2007, Harvard)**
  30 SCI Makalesi

Bilkent NANOTAM

Öğrencilerimizin başarısı ile övünüyoruz



MEZUNLAR

- **Dr. Burak Temelkuran (Bilkent Doktora 2000, MIT, Omniguide)**
  15 SCI Makalesi
- **Yard. Doç. Dr. Mehmet Bayındır (Bilkent Doktora 2002, MIT, Bilkent)**
  18 SCI Makalesi





- **Dr. Necmi Bıyıklı (Bilkent Doktora 2004, Cornell)**
  19 SCI Makalesi
- **Dr. İbrahim Kimukin (Bilkent Doktora 2005, Carnegie Mellon)**
  19 SCI Makalesi





- **İrfan Bulu (Bilkent Doktora 2007, Harvard)**
  30 SCI Makalesi
- **Koray Aydın (Bilkent Doktora Temmuz 2008, Caltech)**
  34 SCI Makalesi
  ABD'de yapılan iyi doktora tezlerinden 7-8 kat daha fazla yayın



Bilkent NANOTAM

Öğrencilerimizin başarısı ile övünüyoruz



MEZUNLAR

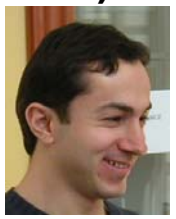
- **Dr. Burak Temelkuran (Bilkent Doktora 2000, MIT, Omniguide)**
  15 SCI Makalesi
- **Yard. Doç. Dr. Mehmet Bayındır (Bilkent Doktora 2002, MIT, Bilkent)**
  18 SCI Makalesi





- **Dr. Necmi Bıyıklı (Bilkent Doktora 2004, Cornell)**
  19 SCI Makalesi
- **Dr. İbrahim Kimukin (Bilkent Doktora 2005, Carnegie Mellon)**
  19 SCI Makalesi





- **İrfan Bulu (Bilkent Doktora 2007, Harvard)**
  30 SCI Makalesi
- **Koray Aydın (Bilkent Doktora Temmuz 2008, Caltech)**
  34 SCI Makalesi

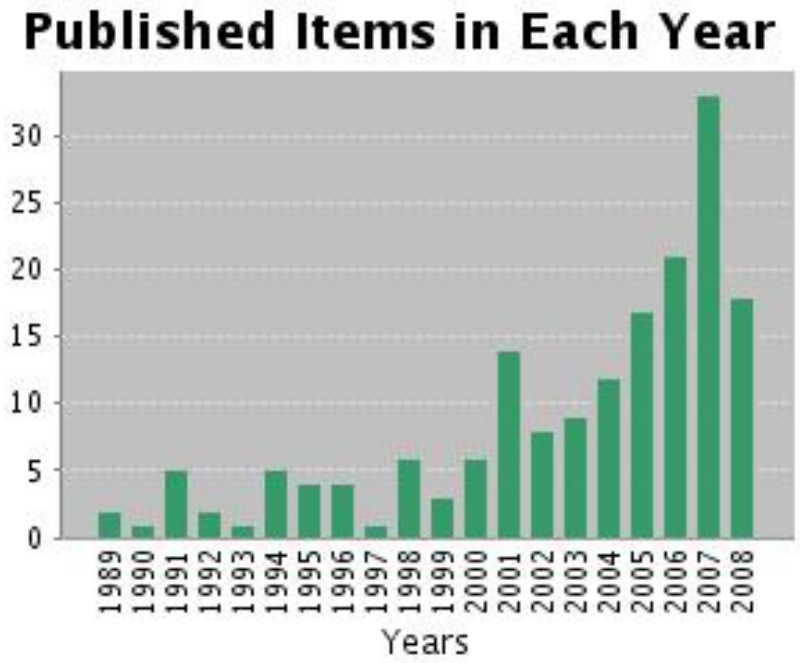


DEVAM EDENLER

- **Hümeyra Çağlayan (Bilkent Doktora ~2009)**
  26 SCI Makalesi



Bilkent NANOTAM – Yayınlar
Ekmel Özbay



- Bilkent Üniversitesi ve Türkiye rekorları
- 2001 (14)
- 2005 (17)
- 2006 (22)
- 2007 (33)
- 2008 (26)
- 180 SCI basılmış yayın
- 10 kabul ile 190 SCI yayın
- Türkiye'ye döndükten sonra 170 makale
- Araştırmaları tamamen Türkiye'de yapılmış yayınlar
  - 1 Science makalesi, IF=30.927
  - 3 PRL makalesi, IF=7.489
  - 15 PRB makalesi, IF=3.185
  - 6 Optics Letters makalesi, IF=3.599

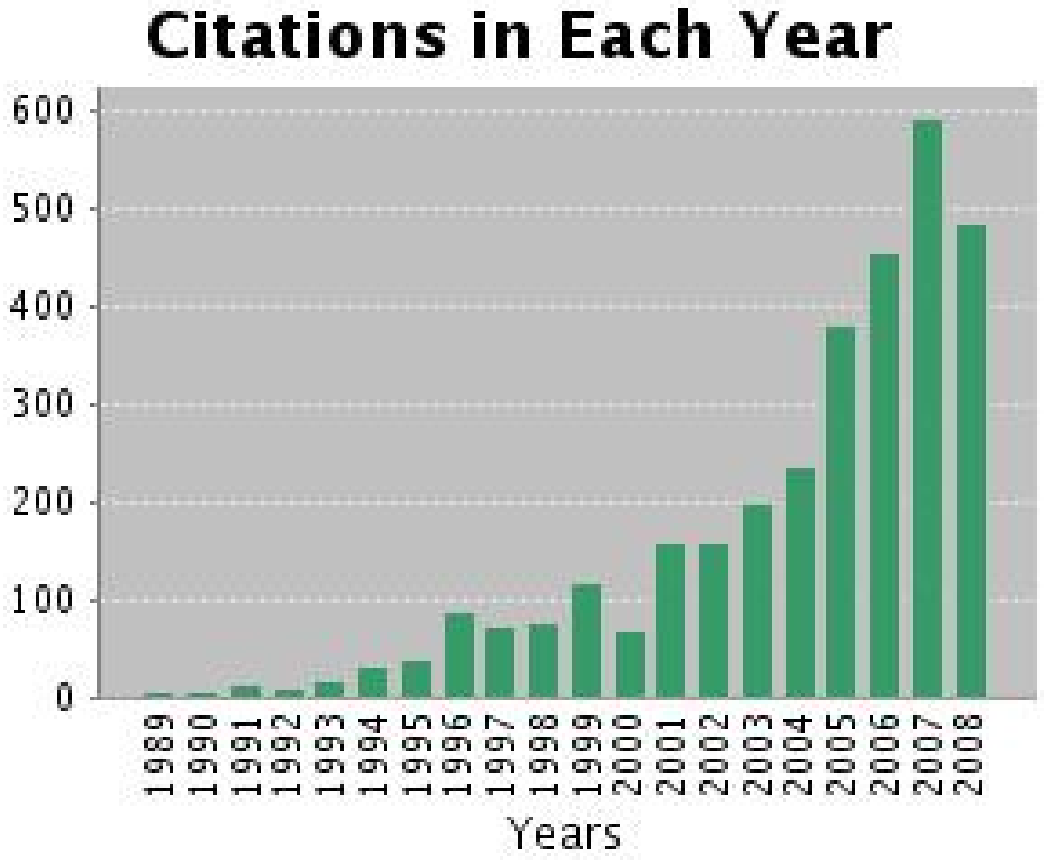
Nerede yayın yapıyoruz?

- 1 Nature makalesi, Impact Factor (IF)=29.273
- 42 Applied Physics Letters makalesi, IF=4.127
- 10 Optics Express Makalesi, IF=3.764
- 11 Journal of Applied Physics Makalesi, IF=2.498

Bilkent NANOTAM – Atıflar Ekmel Özbay

Bilkent Üniversitesi ve Türkiye Rekorları

- **2003 (195)**
- **2004 (236)**
- **2005 (376)**
- **2006 (449)**
- **2007 (595)**
- **2008 (483)**
- **Toplam 3500 atıf**
- **h-indeks=30**
- **100 ve üzeri atıf alan makale sayısı=6**
- **Bilkent yayınlarına 2007'de gelen atıfların %20'si**
- **Bilkent'in 2007 yayınlarının %11'i**



Üretken bir profesör olduğumu rakamlar gösteriyor



Bilkent NANOTAM Alt Yapısı

AIXTRON RF200/4 RF-S GaN / AlGaN MOCVD Sistemi



- Türkiye'de sadece Bilkent Üniversitesi NANOTAM bu sisteme sahiptir.
- GaN/AlGaN malzemesinin büyütülmesi
- Güneş Körü Detektörler
- Nanotransistörler
- Nanofotonik kristaller
- Nanoplazmonik sensörler
- Kuantum Kuyulu Işık Kaynakları, Modülatörler, Detektörler





Bilkent NANOTAM Alt Yapısı

AIXTRON RF200/4 RF-S GaN / AlGaN MOCVD Sistemi



• ASELSAN-SSM Projesi ile tedarik edildi. 2004 yılında NANOTAM'da işletime alındı.

• Bu sistemle alttaş üzerine GaN / AlGaN malzemesi büyütülmektedir.

• Büyütmeler hassas elektronik ve bilgisayar kontrolü altında yapılmaktadır.



Bilkent – NANOTAM

GaN / AlGaN malzeme büyütmesi konusunda dünya literatüründe lider konuma ulaşmıştır.

Yıl 2005 - **3** uluslararası makale (SCI)

Yıl 2006 - **8** uluslararası makale (SCI)

Yıl 2007 - **11** uluslararası makale (SCI)

Bilkent NANOTAM Alt Yapısı

MA6 Maske Hizalayıcı



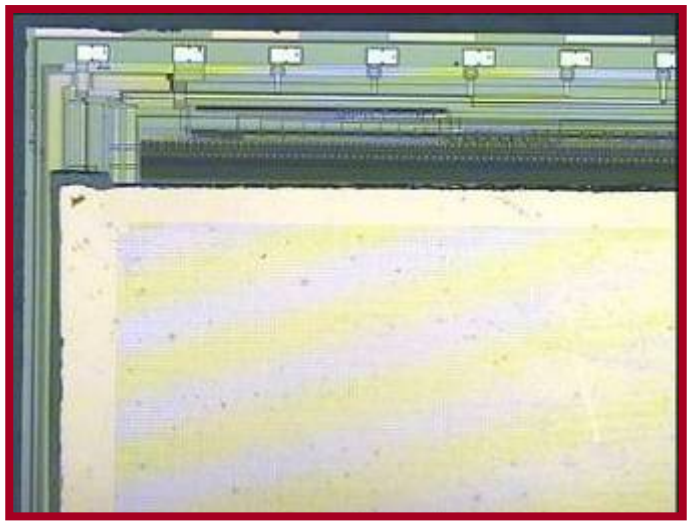
- 6 inç'e kadar örnekler
- Otomatik WEC

(wedge error compensation)

- NIL
- EISS gelişmiş görüntüleme sistemi
- Çift objektif (aynı anda iki farklı bölge görüntüleme)

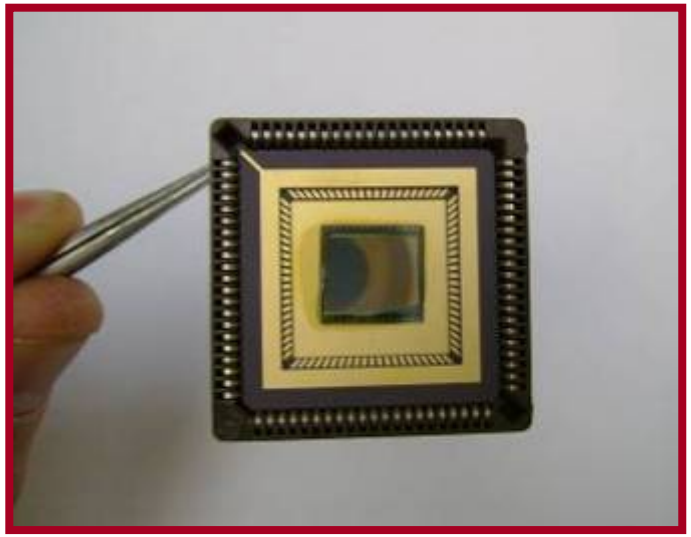
Bilkent NANOTAM Alt Yapısı

FC 150 Flip-Chip Bonder





AlGaN FPA ve ROIC birleştirilmiş



Bilkent NANOTAM Alt Yapısı

Leybold Univex E-Beam ve Sputter Sistemi



Bilkent NANOTAM Alt Yapısı

Jobin Yvon UV Foto Işıma Sistemi



Bilkent NANOTAM Alt Yapısı

Veeco AFM ve STM Sistemleri



Bilkent NANOTAM Alt Yapısı

Fianium 266 nm Fiber Lazer







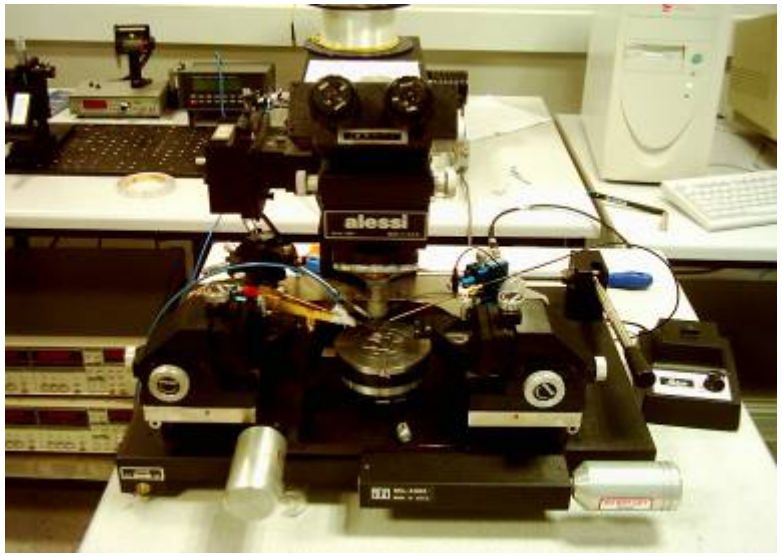
Bilkent NANOTAM Alt Yapısı

Agilent 4145B, Agilent E4407B Microwave Spectrum Analyzer, Keithley 6517A Parameter Analyzer ve Sonda İstasyonu









Bilkent NANOTAM Alt Yapısı

Ölçüm Ekipmanları



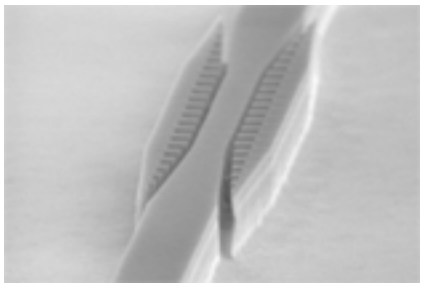
- Calmar Femtosecond fiber laser
- Photonetics tunable 1.55 micron lasers (2)
- SRS FFT Analyzer
- Leak Detector
- Hall Measurement System
- Nomarski Prism Microscope
- Laser Diode Measurement Set-Up
- Fiber based UV Spectrophotometer
- Agilent Network Analyzers
- Agilent 50 GHz Scope

E-Line; Yüksek Çözünürlüklü E-beam Litografi Sistemi



Temel özellikler

- Fotorezist kullanarak pozlandırılmış kanal genişliği < 50 nm
- Maksimum yazma alanı 2 x 2 mm
- Minimum yazma alanı 500 nm x 500 nm
- Hareket alanı 100 x 100 mm



Bilkent Üniversitesi NANOTAM Nanoteknoloji Araştırma Merkezi

Yüksek çözünürlüklü nano paternler çizmek için Elektron Demeti Litografisi kullanılır

