

# Estudi d'Antenes a la banda de THz

Presentació  
Tomas Rabinal Behrs  
Juny 2018

Master Enginyeria Telecomunicacions  
UOC (Univertitat Oberta de Catalunya)

Directors: Dr. Jaume Anguera y Dra. Aurora Andújar



# Índex general



1. Motivació
2. Mètode de treball
3. Conceptes generals de les nanoantenes
4. Materials
5. Banda de THz
6. Tipus d'antenes
7. Aplicacions de les antenes
8. Processos de fabricació
9. Caracterització
10. Sumari



# Motivació



1. Descripció general del entorn de les antenes a aquesta banda de freqüència i diferència amb antenes de RF
2. La capacitat tecnològica per a realitzar estructures i antenes a grandàries de  $10^{-9}\text{m}$
3. Quins Processos de fabricació de nanoestructures
4. Banda de THz i comportament conductor a nanoescala
5. Comportament de les nano antenes i materials
6. Integració i camps d'aplicació a THz, fa que sigui un camp d'estudi relativament nou i amb molt de potencial.

# Mètode de Treball

El mètode de treball ha consistit en realitzar una lectura d'articles científics i fer un sumari general del entorn de les nano antenes i la banda de THz. Aquestes fonts d'informació han estat extretes en línia i els articles científics de la base de dades del IEEE Explorer del campus.



## **-Aspectes generals d' antenes:**

- «RF & optical antenna,» 2017. [En línia]
- A. KUMAR, «OPTICAL NANO-ANTENNAS: FABRICATION, CHARACTERIZATION AND APPLICATIONS,»
- C. Menzel, E. Hebestreit,..., «The spectral shift between near- and far-field resonances of optical nano-antennas,»
- G. R. J. i M.S., «Determination of antenna parameters by scattering»

# Mètode de Treball

## **-Tipus d'antenes→**

- "Microwave to Terahertz"
- "Fractal Structures for THz Radiation Emitters"
  - C. P. C. B. a. J. S. J. Anguera, «Fractal-Shaped Antennas: a Review.»
- A. A. S. B. J. J. a. S. K. J. Anguera, "High-Directivity Microstrip Antenna with Mandelbrot Fractal Boundary,"
- C. P. E. M. a. E. R. J. Anguera, «The fractal Hilbert monopole: A two-dimensional wire.»

## **-Tipus de materials→**

- "Graphene for Antenna Applications: Opportunities and Challenges from Microwaves to THz"
- J. Miquel Jornet i I. F. Akyildiz, «Graphene-Based Nano-Antennas for Electromagnetic Nanocommunications in the Terahertz Band.»
- A. Banerjee i U. Malaviya, «Design of a Tunable Ultraviolet Filter using Metallodielectric Photonic Crystal.»
- "Design and Characterization of Tunable Terahertz Metamaterials With Broad Bandwidth and Low Loss"
- M. Liang, Z. Wu, W.-R. Ng, M. Gehm i H. Xin, «Electromagnetic Crystal (EMXT) based Terahertz.»
- G. R.T.Kampwirth and K.E., «NbN MATERIALS DEVELOPMENT TO PRACTICAL SUPERCONDUCTING DEVICE.»
- "Waveforms of Terahertz Radiation Emitted from Superconducting Dipole"
- F. Neubrech, J. Aizpurua, S. Karim i T. Cornelius, «PROPERTIES OF GOLD NANOANTENNAS IN THE INFRARED.»
- J. Chen, P. Albella, Z. Pirezadeh, ..., «Plasmonic Nickel Nanoantennas.»

## **-Caracterizació**

- C. P. C. B. R. M. a. J. S. J. Anguera, «Small and High Directivity Bowtie Patch Antenna based on the Sierpinski Fractal.»
- T. R. Globus, M. L. Norton, ... "Reliability Analysis of THz Characterization of Modified and Unmodified Vector Sequences"
- E. R. J. A. C. Puente, «Space-filling miniature antennas.»
- "THz Antenna Designs With High Radiation Efficiency, High Directivity, and High Aperture Efficiency"
- "Numerical Analysis and Characterization of THz Propagation Channel for Body-Centric Nano-Communications" → CST
- "Characterization of THz devices and Components"
- "Research and Design of Terahertz Horn Antenna with MEMS" ( Micro-Electro-Mechanical-Systems)
- "Direct Measurement of the Radiation Pattern of a nano antenna"
- I. Llatser, C. Kremers, D. N. Chigrin, J. M. Jornet, M. C. Lemme, A. Cabellos-Aparicio i E. Alarcon, «Characterization of Graphene-based Nano-antennas in the Terahertz Band

# Mètode de Treball

## **-Processos** →

- "Lithographic Antennas for Submillimeter and Infrared Frequencies"
- K. M. T. Ahmed, G. Colin i A.-M. Kietzig, «Fabrication of Micro/Nano Structures on Metals by Femtosecond Laser Micromachining,»
- A. P. Nayak, V. a. M. Logeeswaran i S. Islam, "Wet and Dry etching"
- "Terahertz Characterization of Dielectric Substrates"
- "Antenna Using Silicon Micromachining"
- "micromachines-05-01219" → Micromachining Techniques

## **-Aplicacions** → - P. H. Siegel, «THz Instruments for Space,»

- "THz Active Devices and Applications: a Survey of Recent Researches"
- J. Grade, P. Haydo, ..., "Electronic Terahertz Antennas and Probes for Spectroscopic Detection and Diagnostics"
- F. Norouzian, F. Qi, B. Willetts, M. Gashinova, C. Constantinou, P. Gardner, E. Hoare i M. Cherniakov, «Characterisation of Attenuation at Low THz Frequencies in Radar Sensors,»
- R. Appleby i B. Wallace, "Standoff Detection of Weapons and Contraband in the 100 GHz to 1 THz Region,"
- Ian S. Gregory, I. S. Gregory, C. Baker, W. R. Tribe, I. V. Bradley, M. J. Evans, E. H. Linfield, A. G. Davies i M. Missous, «Optimization of Photomixers and Antennas for Continuous-Wave Terahertz Emission,» → applications in fields including security screening ,spectroscopy, and medical imaging
- "THz Ellipsometry in Theory and Experiment"
- Hongyu Zhou, H. Zhou, X. Chen, .....«Nanoscale Optical Dielectric Rod Antenna for On-Chip Interconnecting Networks,»
- "Extending Terahertz Paint Thickness Measurements to Advanced"
- "Development of Fast Scan THz-TDS System"
- A. M. A. Sabaawi, C. C. Tsimenidis i B. S. Sharif, «Analysis and Modeling of Infrared Solar Rectennas,»

# 1. Conceptes generals de les nano antenes



1. Una gran integració de components petits donada la natura d'alta freqüència dels THz.
2. Grans pèrdues metàl·liques de les freqüències òptiques causades per a la no conductivitat elèctrica ideal i perfecte dels metalls a nano escala.
3. La polarització de la nano antena té grans efectes a les pèrdues d'acoplament del camp electromagnètic, per tant les nano antenes mostren una sensibilitat més gran a la polarització.

# 1. Conceptes generals de les nano antenes / Diferències RF i AO



4. Antenes per a RF interès d'estudi a camp llunyà, les antenes òptiques tenen un interès a camp llunyà i camp proper (distribució del CE a la superfície de l'antena i les amplituds de camp als extrems de les antenes).
5. En RF la corrent crea ones electromagnètiques, mentre que en òptica, les ones són creades per els electrons lliures a la superfície plasmònica
6. En RF es treballa en freqüències de ressonància i en òptiques amb longitud d'ona de ressonància.



## 2. Materials



1. Conductors: coure, alumini, electroceràmics
2. Dielèctrics;
3. Metamaterials;
4. Metalodielèctrics;
5. Silici i semiconductors;
6. Metalls nobles; l`or, plata
7. Grafé;
8. Superconductors; NbN
9. Altres Materials; EMXT

## 2. Materials



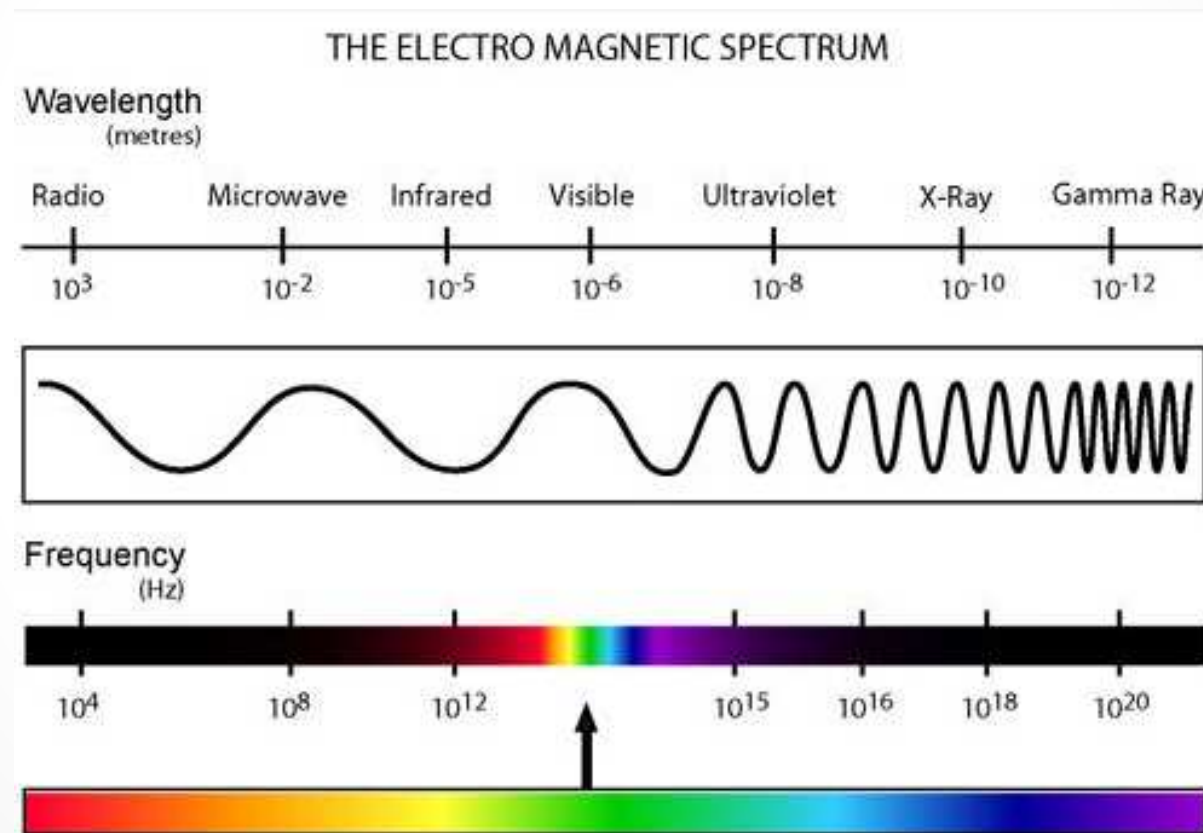
# Perquè utilitzar l'or en nano antenes

1. En RF el comportament dels metalls son quasi perfectes, en canvi en freqüències òptiques, els metalls no es comporten com a conductors perfectes ocasionant grans pèrdues. Els metalls nobles com l'or i la plata tenen la conductivitat més alta dels metalls, molt importants per a freqüències òptiques.
2. L'or incrementa la resposta plasmònica a la superfície del metall a una freqüència determinada en comparació amb metalls convencionals (Ni per exemple). La ressonància en metalls nobles es molt més gran.
3. És un material ferromagnètic amb una gran capacitat magnètica alhora d'influir els camps magnètics propers en l'acoblament a l'antena
4. L'or té una conductivitat alta i estable a temperatura ambient
5. L'or és maleable i anticorrosiu, que el fa idòni per a aplicacions a l'aire lliure i entorns humits.
6. En els processos de fabricació ha quedat demostrat que amb l'or, en comparació amb d'altres metalls, les estrucutres geomètriques no han estat tant danyades al aplicar el feix d'electrons en el procés ALD(atomic layer deposition)
7. Alta eficiència energètica en la captació de llum solar

# 3. Banda de THz



1. La banda de THz, quasi òptica, va des de les microones a 100GHz ( $\lambda=3\text{mm}$ ) fins al infraroig 10THz ( $\lambda=30\mu\text{m}$ )



# 3. Banda de THz

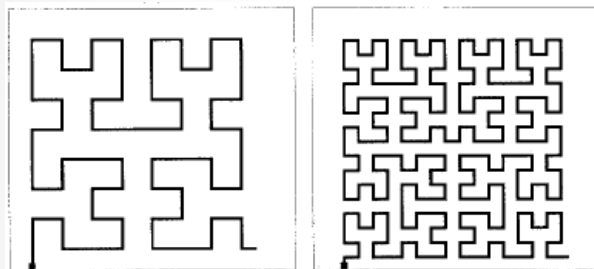


2. Interés a la banda de THz: Comunicació de gran quantitat de dades(un gran ample de banda) a una velocitat molt elevada.
3. Alta integració de components electrònics.
4. Interés per a comunicar circuits entre si.
5. Tractament de la llum incident sobre les nanoestructures; reflexions i refraccions.
6. La banda de THz substitueix la banda X-ray. La banda de THz no és ionitzable.

# 4. Tipus d'antenes



Fractal monopol de Hilbert



Altres estructures fractals

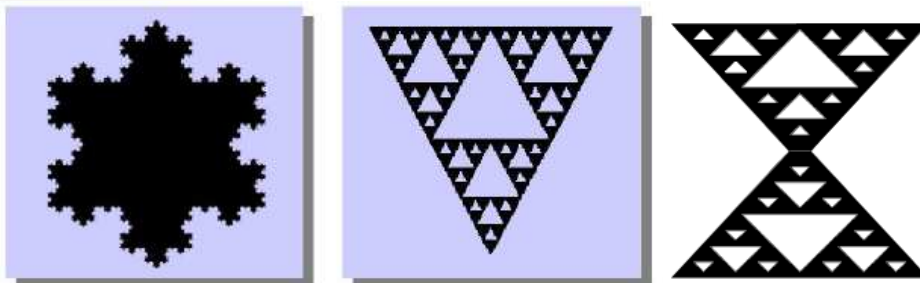
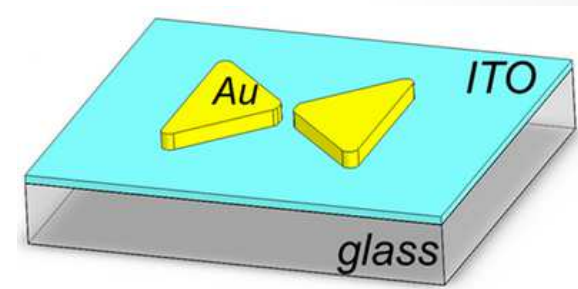
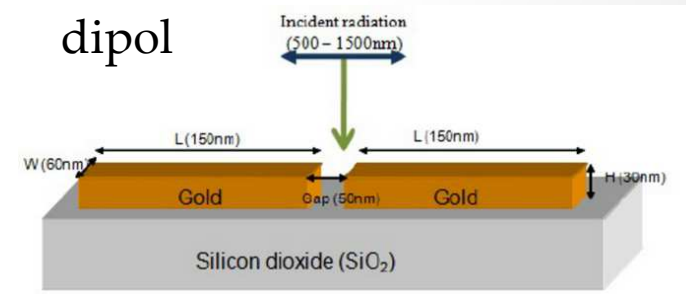


Fig. 8 Left: boundary-fractal using the Koch island. Right: mass-fractal using the Sierpinski triangle

Antenes bowtie



Antenes dipol



# 5. Aplicacions de les antenes

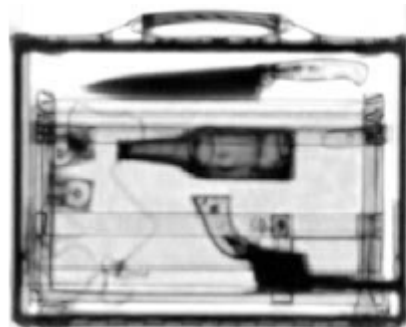
1. Imatge d'alta definició; Multiphoton photoluminiscència, són processos per a la caracterització d'estructures nano mètriques basades en materials de metalls nobles per aconseguir en les imatges sensibilitat i una resolució elevada



1. Espectroscòpia; reconeixement de materials, i geometries a nanoescala,
2. Cèl.lules solars nanoantenes d'or que capten l'energia solar per a la franja del infrarroig arribant a una eficiència del 85% respecte plaques solars convencionals de Cristall de silici que arriba a un 45% d'eficiència

# 5. Aplicacions de les antenes

1. Detecció condicions ambientals; capacitat de traspasar els entorns atmosfèrics excepte l'aigua. Informació d'atenuació de la boira pols , pluja i fum.
2. Seguretat i detecció; d'armes als aeroports, doncs la radiació a THz rebotja sobre els metalls. Combinació de polsos i ones contínues mitjançant mescladors. Fent mesures de potència i polarització.



# 5. Aplicacions de les antenes

1. Aplicacions per a l'espai; espectrometria de les composicions químiques i atmòsferes dels exoplanetes
2. Circuits integrats; integració de nanoantenes als circuits integrats per a comunicació entre circuits electrònics. (Antena per un IC)

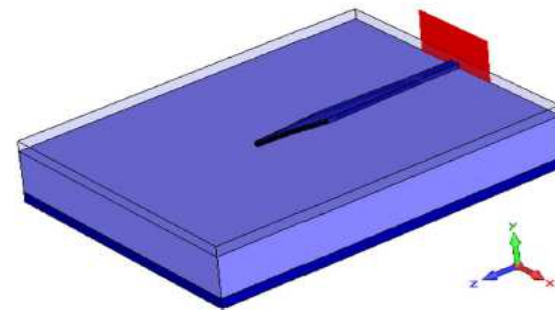
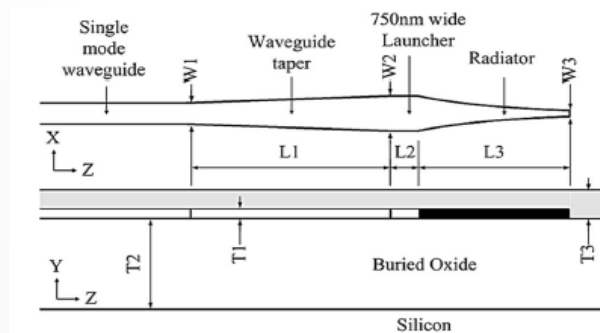


Fig. 1. Proposed optical dielectric rod antenna configuration. (top) Top and side views. (bottom) 3-D model ( $L_1 = 4 \mu\text{m}$ ,  $L_2 = 0.5 \mu\text{m}$ ,  $L_3 = 3 \mu\text{m}$ ,  $W_1 = 0.45 \mu\text{m}$ ,  $W_2 = 0.75 \mu\text{m}$ ,  $W_3 = 0.13 \mu\text{m}$ ,  $T_1 = 0.22 \mu\text{m}$ ,  $T_2 = 2 \mu\text{m}$ ,  $T_3 = 0.5 \mu\text{m}$ ).

1. Radiografia i medicina; realitzar imatges o radiografies dels objectes , del cos i dels teixits vius.
2. Automoció; radars integrats als vehicles a THz



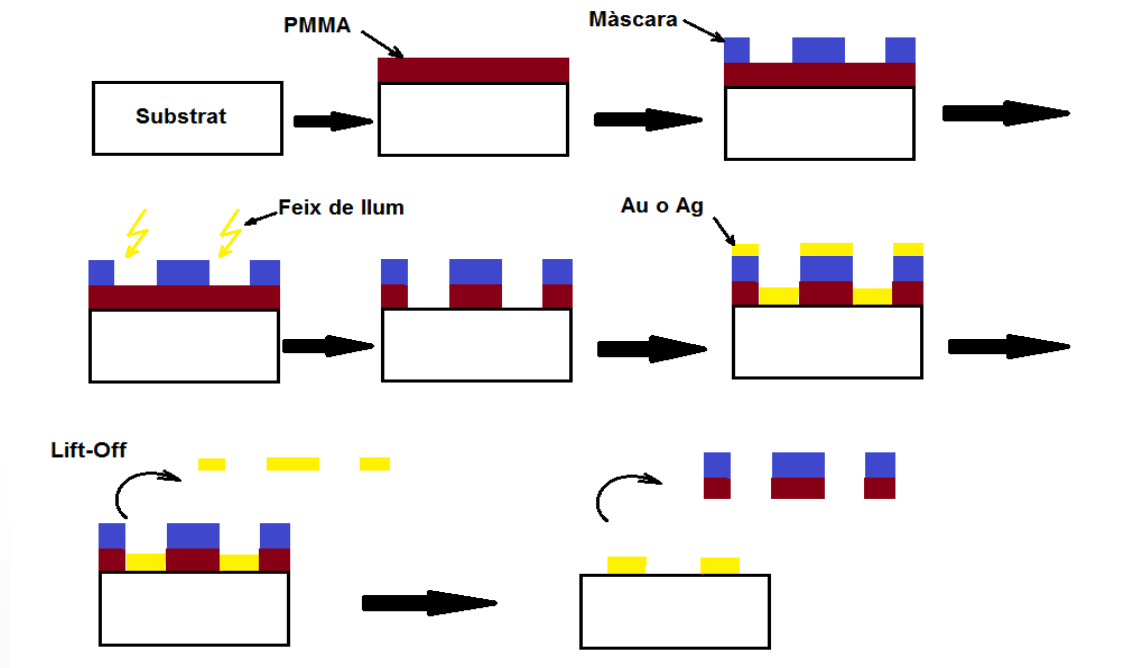
# 5. Aplicacions de les antenes

1. Indústria de la fusta i dels materials; controls de qualitat i control de forats dintre dels materials
2. Indústria queviures i agricultura, control de qualitat en colors i geometries dels queviures
3. Empaquetatge; control que tots els embalatges estiguin correctament tancats
4. Invisibilitat d'objectes; fer imatges per capes per el interior dels materials.
5. Detecció biològica i bioquímica reaccions inorgàniques; detecció de cadenes d'ADN i estructures orgàniques

# 6. Processos de fabricació



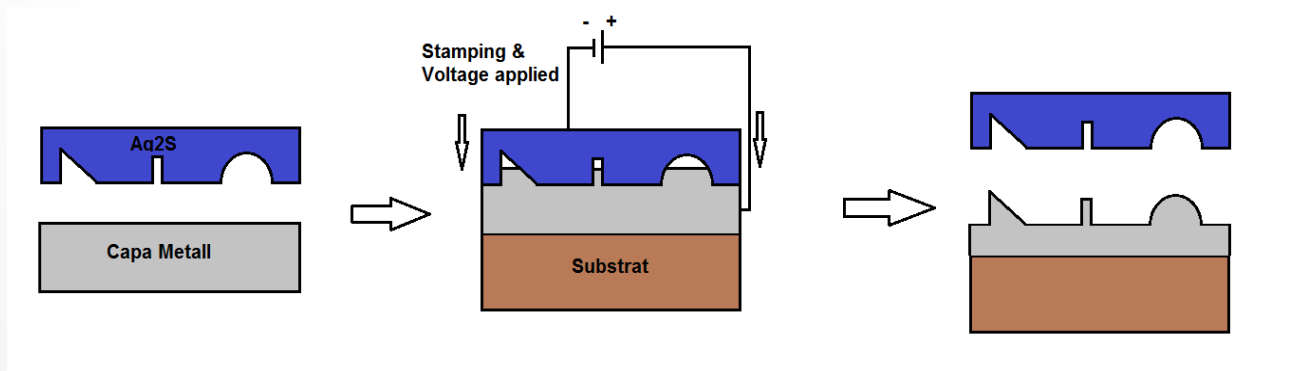
1. Electron beam lithography; sistema més habitual i de més experiència



# 6. Processos de fabricació



2. Solid-State superionic stamping; és una combinació entre un estampat i un voltage aplicat a la capa metàl·lica



# 6. Processos de fabricació



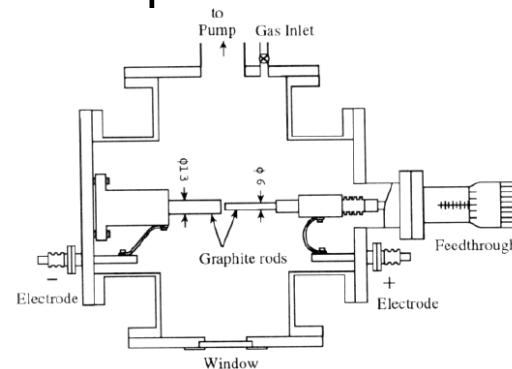
3. Làser micromachining: sistema més acurat el nombre de polsos aplicats fs, duració i potència, així com polarització del feix de làser, longitud d'ona, velocitat i angle d'incidència cap a les estructures.

# 6. Processos de fabricació



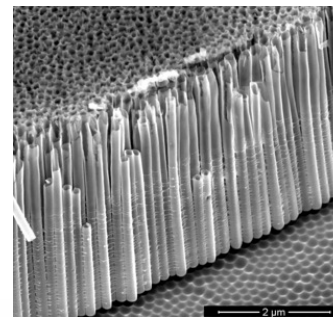
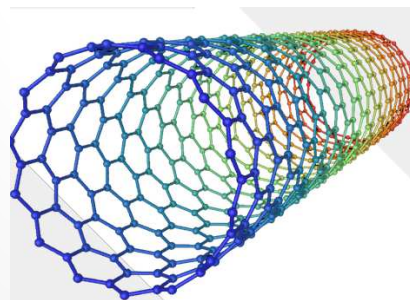
## 4. Sintetització de nanotubs de carboni

-Descàrrega elèctrica a partir de dos electròdes de grafit



-Chemical vapor deposition (CVD).

-Làser, injecció de làser a un material de grafit.



# 7. Caracterització / Instrumentació



1. VNA vectorial network analyzer, analitzador d'espectres vectorial on per a amplitut i fase
2. Connectors; per a transmissions òptiques E2000. Mòdul FPP.

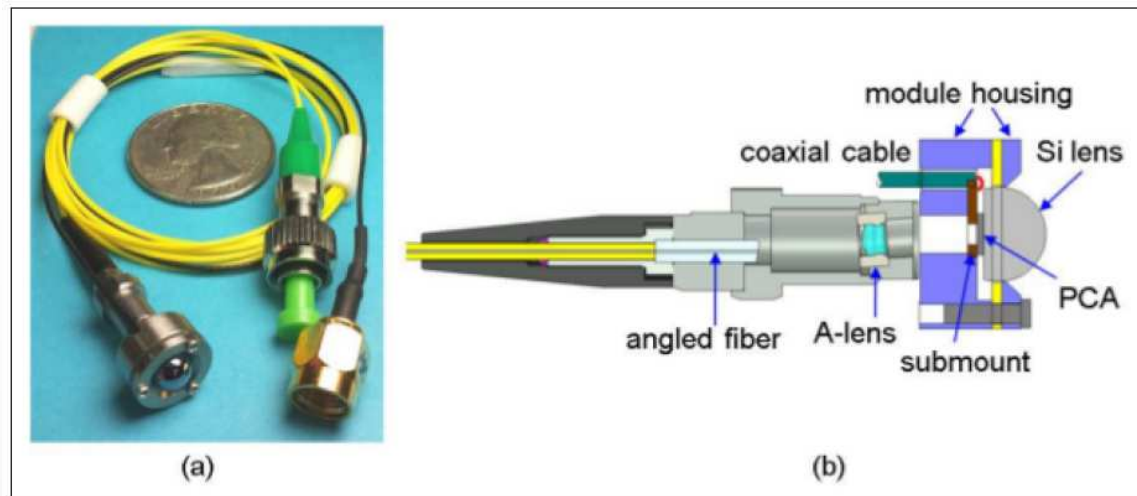


Fig. 22[20]: a-Mòdul pigtail de fibra en PCA de InGaAs. b-Vista en secció del mòdul FPP.

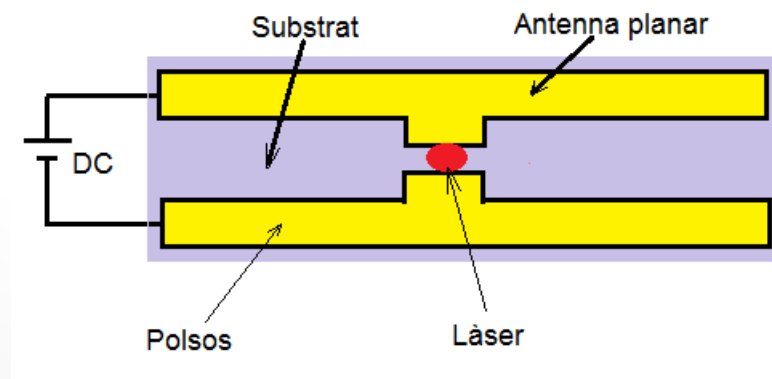
# 7. Caracterització / Instrumentació



## 3. Fonts de radiació

-Tipus làser femtosecond amb generació de pulsos curts i potència elevada. Fets d'arseniur de Gali o Fòsfur d'Indi

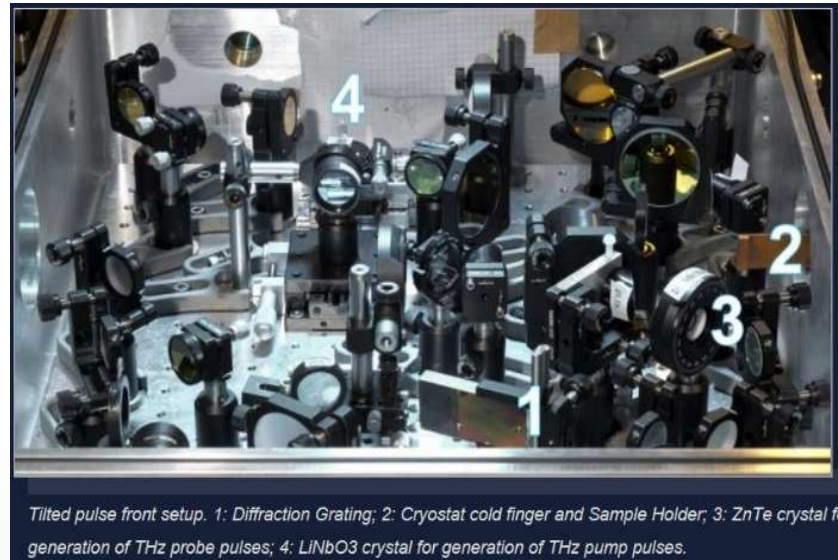
4. Fotodetectors, es crea una tensió entre ambdòs filaments de l'antena



# 7. Caracterització / Instrumentació



5. Lents de silici
6. Cristalls fotònics
7. Miralls dielèctrics i metàl·lics



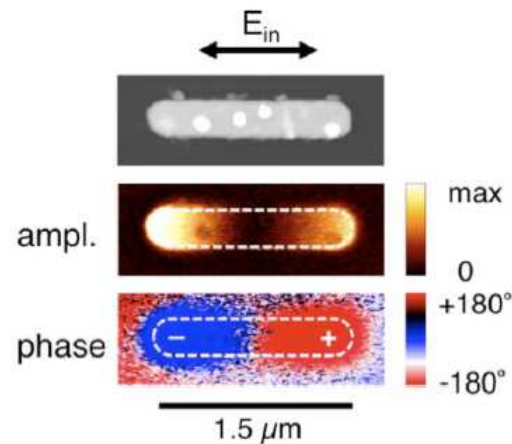
*Tilted pulse front setup. 1: Diffraction Grating; 2: Cryostat cold finger and Sample Holder; 3: ZnTe crystal for generation of THz probe pulses; 4: LiNbO3 crystal for generation of THz pump pulses.*



# 7. Caracterització / Mètodes de Mesura



1. SNOM (Scanning Near-Field Optical Microscopy) escàner de camp proper microscòpic

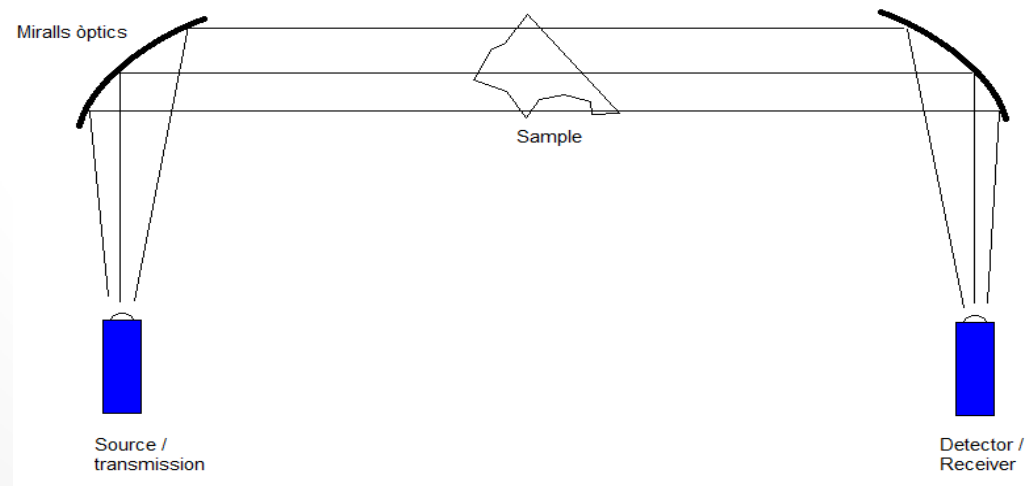


2. TPPL (Two photons luminescence)

# 7. Caracterització / Mètodes de Mesura



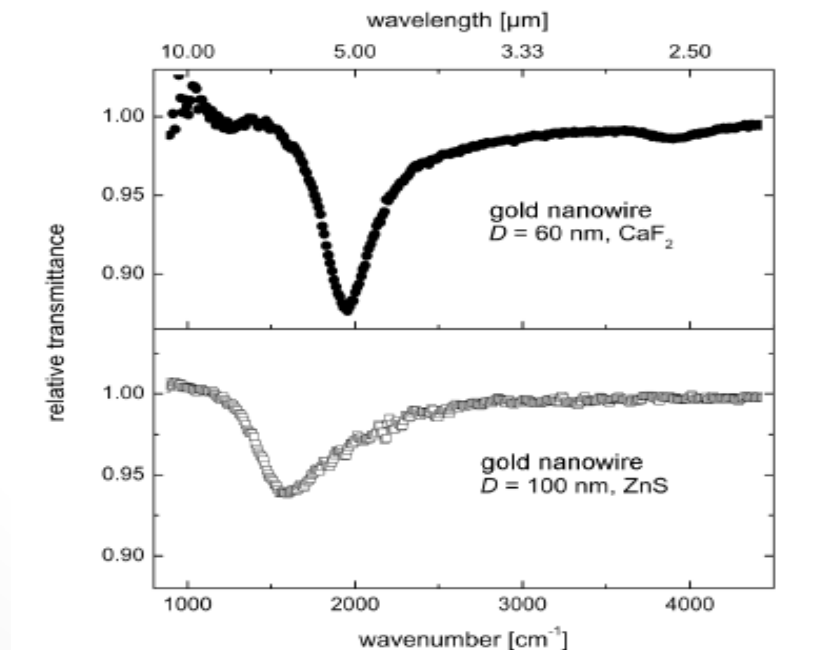
3. SHIM (Second Harmonic imaging microscopy)
4. EELS (Electron energy loss spectroscopy)
5. Scattering cross section o secció eficaç
6. Escalació
7. Espectroscopia THz-TDS



# 7. Caracterització



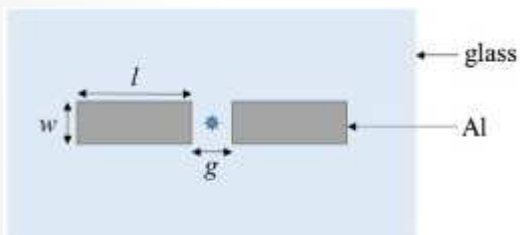
1. Les nano antenes estan fabricades a partir de metalls nobles com el grafè, l'or o la plata per tenir una ressonància plasmònica gran.
2. Si els metalls mostren una ressonància molt elevada, l'ample de banda és menor. A ressonàncies més petites en amplitud, l'amplada de banda és major. L'amplitud en ressonància de la transmissió varia dependent de el diàmetre de la nanotub o nanopartícula.



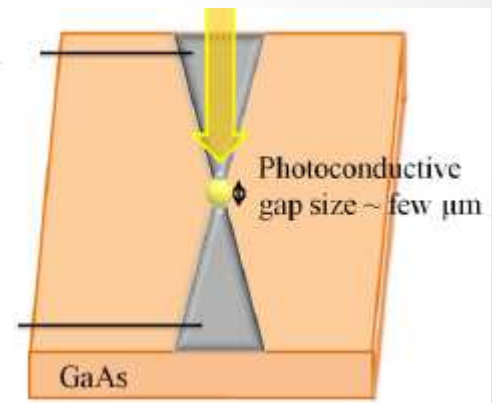
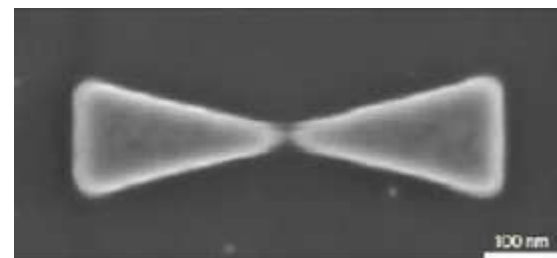
# 7. Caracterització

1. Per a nano antenes bowtie i dipols, la intensitat o potència de camp es concentra en els extrems de l'antena. La distància o gap entre bowties o entre dipols serà un factor d'influència per a la freqüència de ressonància

Dipol



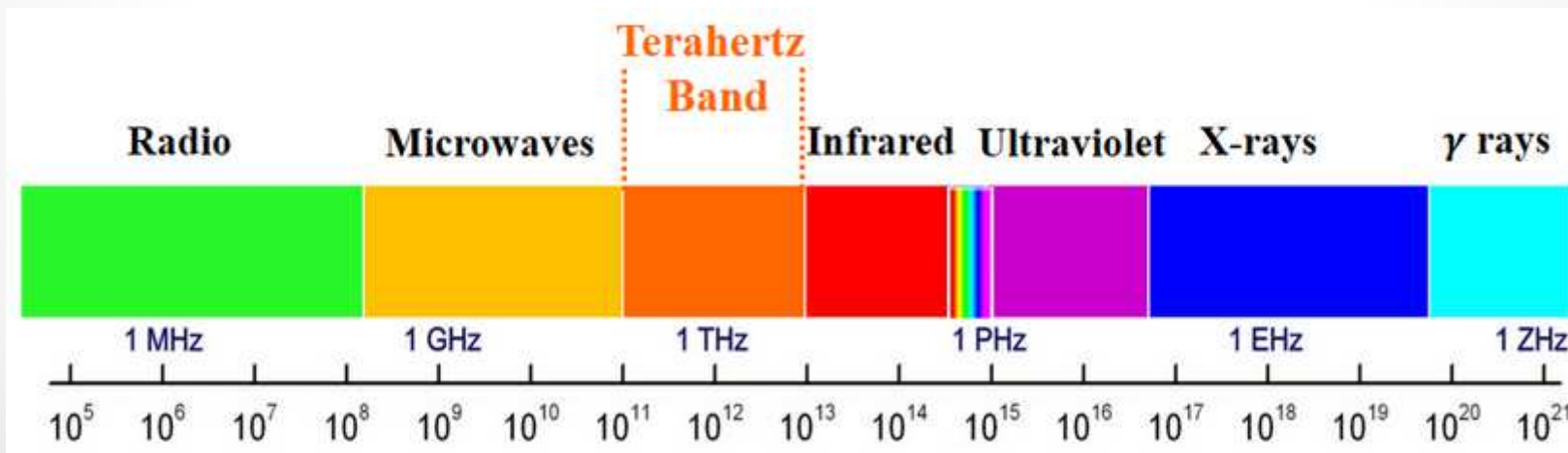
Bowtie



# Sumari



1. -La banda de THz és una banda no ionitzable
2. -La banda de terahertz és energèticament alta, cel·les solars.
3. -La banda de THz és ideal per a la comunicació a grans quantitats de dades i alta velocitat, aplicacions com el vídeo o l'àudio.
4. -La banda de THz s'adapta a una HDI (High density Integration)
5. -La nano antena és el receptor/emisor principal òptic per a la detecció de radiació a THz.
6. -A la banda de THz i les nano antenes tenen pèrdues metàl·liques



# Sumari

1. -A les nano antenes s'utilitzen els metalls nobles com l'or, per la "ressonància plasmònica."
2. -L'or a més, gran conductor, influència als camps magnètics i és anticorrosiu.
3. -Els materials per a de nano antenes en termes d'eficiència i amplada de banda, són el grafè, la plata i l'or.
4. -El grafè i el NbN no tenen un comportament lineal
5. -Les diferents geometries, els buits i el índex de reflexió dels materials, influeixen en la caiguda de ressonància en intensitat de camp i la freqüència desitjable espectral ajustable .



OR (Au)



Plata (Ag)

# Sumari



1. Les aplicacions per a les nano antenes i radiació a THz són Medicina, circuits integrats avançats, eficiència solar, automoció, aviació i espai i anàlisi atmosfèric. Per a les indústries alimentàries, empaquetatge i de la fusta, les aplicacions son bàsicament de qualitat.
2. Les nano antenes arriben a tenir una eficiència solar de fins el 90% del espectre
3. Els 3 processos bàsics de fabricació de nano estructures són:
  - Laser micromachining
  - Solid State superionic stamping
  - Electron beam lithography
4. -Els fotoemissors làsers femtosecond, cristalls òptics, miralls òptics, mescladors òptics i detectors de radiació a THz juntament amb analitzador d'espectres → Intrumentació a THz.
5. -Instruments quàntics de propera generació.