

Nanotecnologie e Nanomateriali

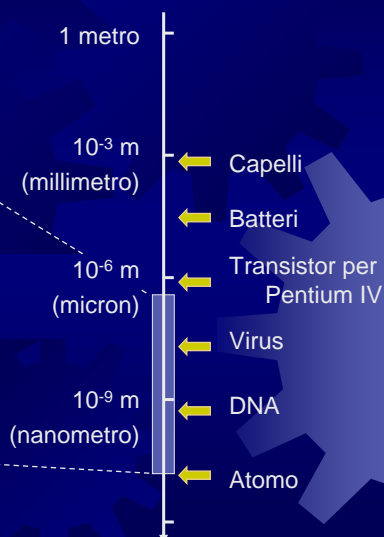
Moreno Meneghetti
Università di Padova
Dipartimento di Scienze Chimiche
moreno.meneghetti@unipd.it

Vicenza 20 giugno 2005

1

Le nanotecnologie

Le nanotecnologie sono l'insieme di metodi e tecniche per la manipolazione della materia su scala atomica e molecolare e hanno l'obiettivo di costruire materiali e prodotti con speciali e superiori caratteristiche chimico-fisiche

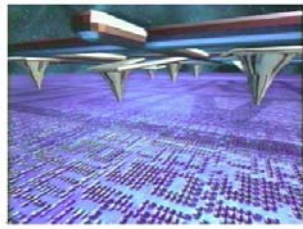


Fonte: Forrester Research

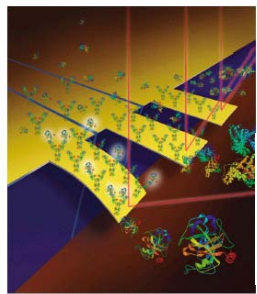
Vicenza 20 giugno 2005

2

Prospettive nanotecnologiche



Multiple storage device using an array of AFM tips
Image courtesy of IBM.



Laser-Cantilever Protein Sensor.
Image courtesy of Kenneth Hsu/UC Berkeley & the Protein Data Bank

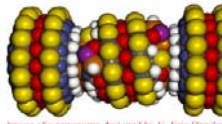
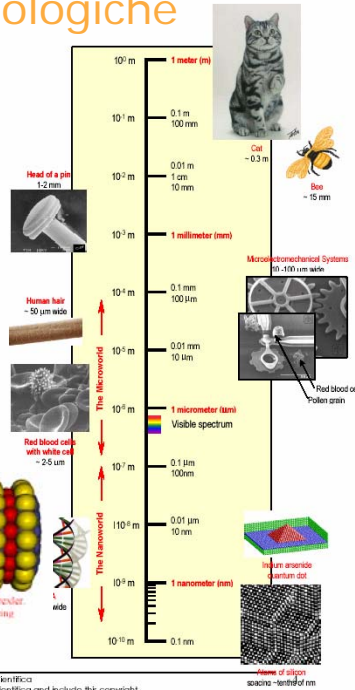


Image of a nanopump designed by K. Eric Drexler.
Courtesy: Institute for Molecular Manufacturing



Vicenza 20 giugno

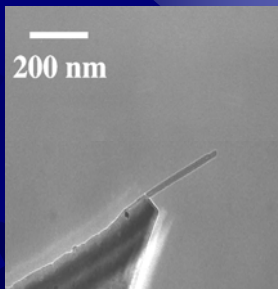
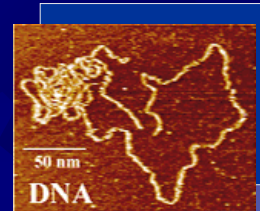
Scientifica and include this copyright.

3

INTRODUZIONE

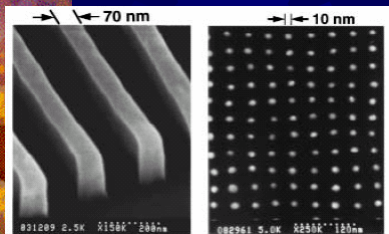
Che cosa e' la Nanoscienza?

- Il comportamento a livello di nanoscala, **non** può essere previsto in base alle nostre conoscenze di livello macroscopico
- Non si tratta solamente di una riduzione di dimensione ma di fenomeni intrinseci alla nanoscala
 - ❖ Dominio dei fenomeni di interfaccia
 - ❖ Meccanica quantistica
- Esempi di nanostrutture
 - ❖ Proteine e DNA
 - ❖ I nanotubi in carbonio



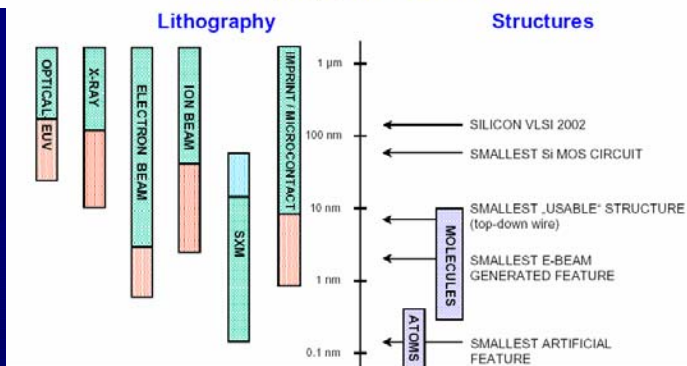
Vicenza 20 giugno 2005

Nanoelettronica "top-down"



Ha origine dalla fisica degli stati condensati e dalla scienza dei materiali

Lithography/Structures Scale



Chimica supramolecolare e approccio "bottom-up": i rotaxani

J. Fraser Stoddart et al. (UCLA)

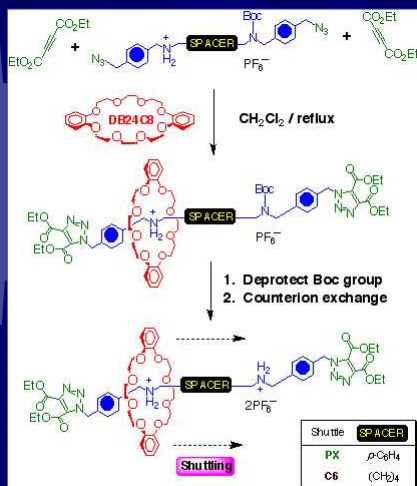
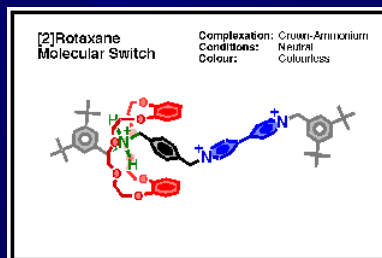


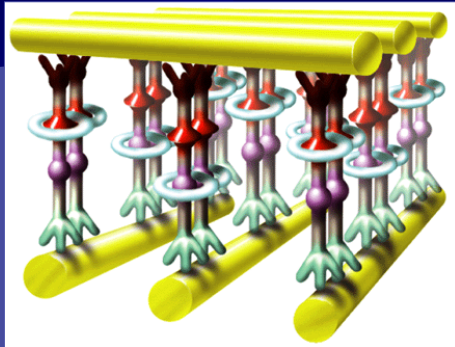
Figure 2. Molecular shuttles created by the interlocking of DB24C8 and bis(dialkylammonium) dumbbells



Il ciclo procede come segue:

1. La corona sulla "stazione" ammonio
2. Aggiunta di una base
3. La corona sulla "stazione" bipyridinio
4. Aggiunta di un acido

Dispositivi a giunzione molecolare



I rotaxani contengono differenti unità di riconoscimento con diverse proprietà redox.

Possono essere fatti commutare tra una configurazione normale ed una metastabile a seguito di un moto traslatorio della corona.

Le molecole anfifiliche vengono auto-organizzate in un film di Langmuir-Blodgett depositato su un substrato di SiO_2 con un pattern preformato di strisce di poly-Si.

Il dispositivo a griglia incrociata 8×8 è formato da elettrodi di poly-Si sul fondo (larghi 100 nm) e da elettrodi superiori in Ti/Al (larghi 70 nm). Ogni giunzione MSTJ ha un'area di 7000 nm^2 e contiene circa 5000 molecole.

Jim Heath (CalTech), Hewlett Packard Corporation

Vicenza 20 giugno 2005

7

Elettronica molecolare

Computing and communications Exponential Growth..

- Performance/Price doubles every 18 months
- 100x per decade
- Progress in next 18 months = ALL previous progress
 - New storage = sum of all old storage (ever)
 - New processing = sum of all old processing.
- Aggregate bandwidth doubles in 8 months!
- Though E. coli double ever 20 minutes!
- Humans tolerate change, barely

15 years ago

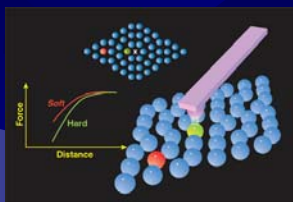
Limiti fisici fondamentali e considerazioni commerciali portano a riconoscere che entro il secondo decennio del nuovo millennio lo sviluppo tecnologico dell'elettronica dovrà contare su approcci completamente nuovi, sia dal punto di vista dei materiali che dei fenomeni sfruttati.

Il campo in rapido sviluppo dell'*elettronica molecolare* - spesso oggi indicato come *nanoelettronica*, offre un'alternativa detta *bottom-up* all'attuale approccio *top-down* basato silicio per la costruzione di circuiti logici e di memoria.

Vicenza 20 giugno 2005

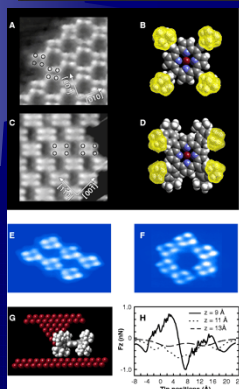
8

Microscopie di sonda a scansione



1982: **Binnig e Rohrer** introducono le microscopie di sonda (SPM) (e vincono il Nobel nel 1986)

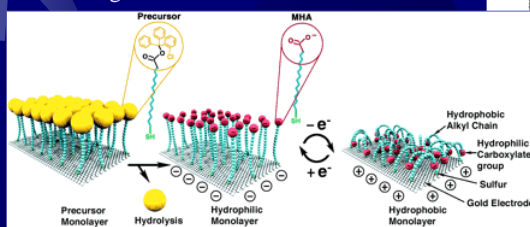
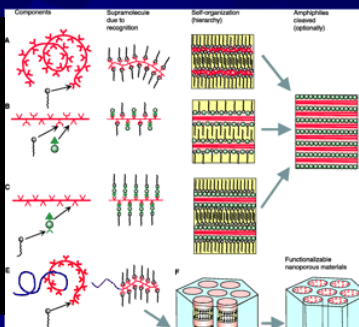
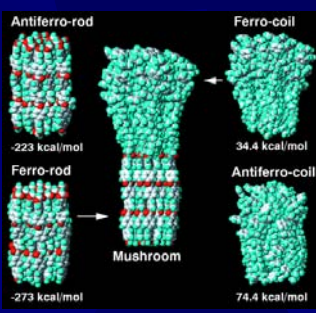
Le sonde a scansione permettono di operare su singole molecole, atomi e legami, fornendo uno strumento di studio e manipolazione che opera ai limiti estremi di risoluzione spaziale.

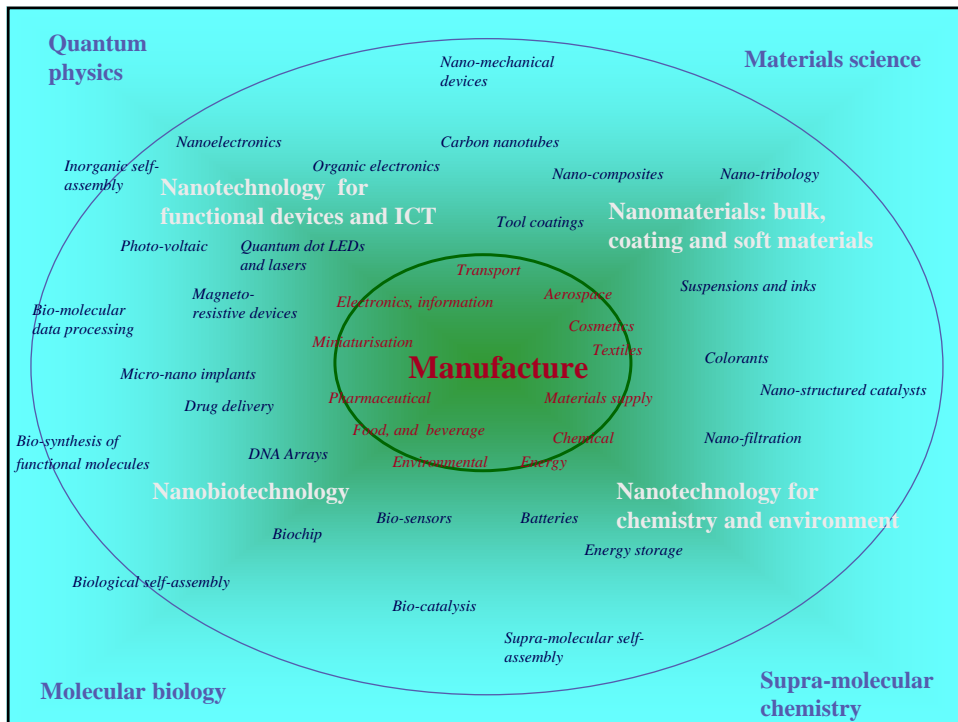


La questione se le SPM abbiano la possibilità intrinseca di diventare uno strumento utile per l'applicazione nelle tecnologie è ancora aperta. Il recente sviluppo di array micromeccanici di migliaia di SPM suggerisce che tale possibilità sta diventando più realistica.

Auto-organizzazione

L'auto-assemblaggio è l'unica strategia praticabile per organizzare insieme funzionali di nanostrutture. Sarà quindi una componente essenziale delle nanotecnologie.





BARRIERE AL GAS NANOSTRUTTURATE

Usando materiali e processi brevettati, il guscio interno di una palla da tennis è rivestito con una barriera chiamata Air D-Fense™ by InMat™ LLC, che impedisce il flusso d'aria che lentamente esce dall'interno. La permeazione dell'aria è ridotta del 200%. Le normali palle lasciate fuori dal contenitore dopo due settimane o meno non possono essere più utilizzate da giocatori esigenti. Double Core™ è giocabile dopo oltre quattro settimane

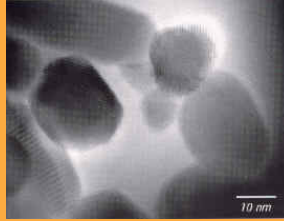
Week	Double Core™ (psij)	Ordinary Tennis Ball (psij)
1	11	11
2	11	10
3	11	8
4	11	5

- Le barriere al gas sono usate in un'ampia varietà di applicazioni: ad es. contenitori per bibite, imballaggi alimentari, pneumatici
- Barriere migliorate possono prolungare la vita e migliorare la qualità/prestazioni dei prodotti

Source: <http://www.wilsonsports.com> Vicenza 20 giugno 2005 12

OSSIDO DI ZINCO NANOSTRUTTURATO PER COSMETICI

Per avere protezione completa dalla radiazione solare, si usano spesso creme contenenti ossido di zinco, una sostanza di colore bianco. Usando nanoparticelle di dimensione 30 - 60 nanometri, Nanophase Technology ha creato una formulazione che blocca tutti i raggi UV ma è completamente trasparente alla luce visibile



Nanophase zinc oxide viewed under high magnification *

Le barriere ottiche vengono usate per molteplici applicazioni

- Creme solari
- Schermi UV (vetri, finestre)
- Celle fotovoltaiche

Source: Nanophase Technologies Corporation vicenza 20 giugno 2005

13

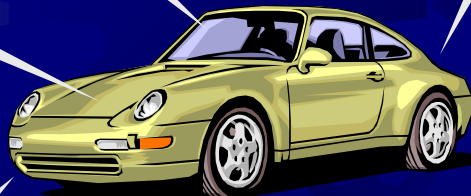
A LUNGO TERMINE, LA PENETRAZIONE SARA' PERVERSIVA ...

Esempio automotive

Leghe basate su nanotubi di carbonio vengono sperimentate come sostituti per i telai di automobili per la loro alta resistenza e basso peso

Catalizzatori ceramici basati su ossidi metallici nanostrutturati ridurranno ulteriormente le emissioni a costi ridotti

Nanopolveri e ricoprimenti aumenteranno la durata delle verniciature



Le eccezionali proprietà meccaniche di nano-compositi polimerici renderanno questi materiali leggeri ideali come sostituti dell'acciaio nelle automobili. Inoltre, i pannelli nanocompositi polimerici renderanno possibile la verniciatura elettrostatica, riducendo di molto i costi e l'impatto ambientale.

Le tecnologie dei nano-catalizzatori e delle membrane avranno un ruolo critico nel rendere economiche le celle a combustibile e consentire la sostituzione dei motori a combustione interna

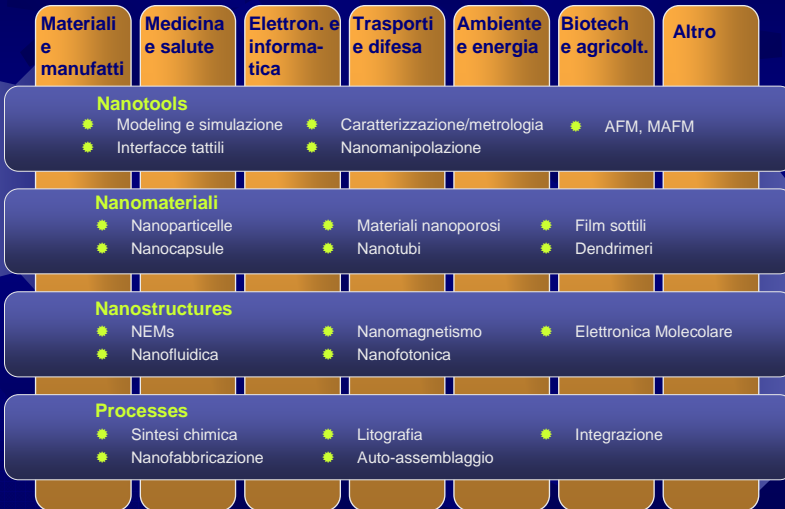
vicenza 20 giugno 2005

14

Settori di mercato e piattaforme tecnologiche per le nanotecnologie

Piattaforma tecnologica

Applicazioni industriali



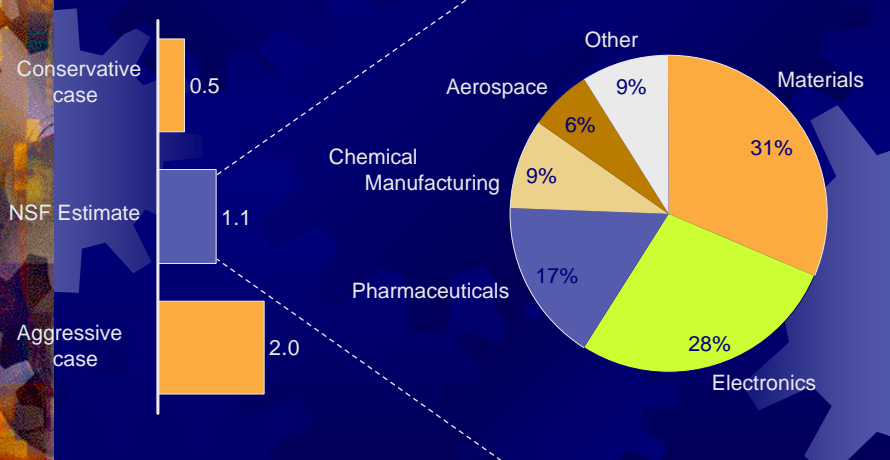
Source: AtomWorks: National Nanotechnology Initiative: researcher workshop: team analysis

Vicenza 20 giugno 2005

15

Sono stimati mercati potenziali molto grandi ...

Beni e servizi collegati alle nanotecnologie – previsione 2010-2015
USD trillions



Source: National Science Foundation, In Realis

Vicenza 20 giugno 2005

16

... ma l'impatto sui mercati richiederà tempo

Temporizzazione	Orizzonte 1		Orizzonte 2	Orizzonte 3
	0 - 3 anni		3 - 7 anni	7+ anni
Sistemi	Nessuno		Memorie non volatili	Materiali biomimetici Bio-elettronica Nano-sistemi logici e di memoria
Strutture e dispositivi	Displays		Sensori, diagnostica biomedica Celle a combustibile Celle solari	Nuovi terapeutici con dendrimeri funzionalizzati, nanotubi, nanoparticelle per rilascio controllato di farmaci
Materiali /applicaz. passive	Nanoparticelle Compositi massivi Ricoprimenti Catalizzatori Strumenti		Nanocompositi, ceramici e metallici ad alte prestazioni.	???
	Bassa	Complessità normativa e ciclo di vita del prodotto		Alta

Source: CMP Scientifica, AtomWorks

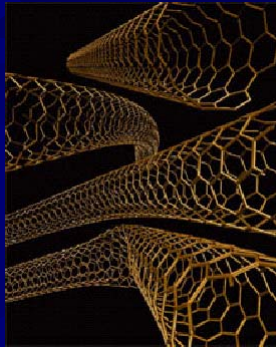
Vicenza 20 giugno 2005

17

I nanotubi di carbonio

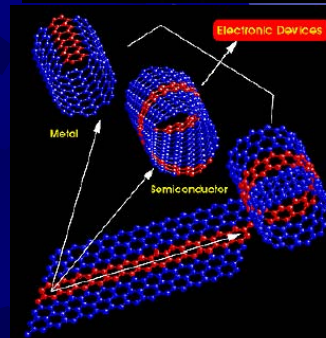
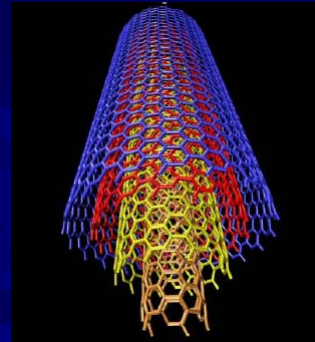
Eccezionali proprietà meccaniche: max. tenacità ad oggi nota

Conducibilità termica simile a quella del diamante



Proprietà elettroniche dipendono dalla struttura:

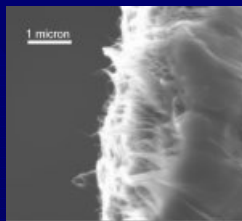
- Metalliche
- Semiconduttive (per avvolgimento ad elica del grafene)



Vicenza 20 giugno 2005

Fibre per tessuti più tenaci del filo della tela di ragno

Nessun'altra fibra oggi nota ha la tenacità delle fibre di nanotubi di carbonio



- Fibre di gel di nanotubi: lunghe 100 m, spesse 50 μm , contengono 60wt% di nanotubi
- Resistenza tensile: 1.8 Gpa
- Energia per rottura: 570 J/g

Possibili applicazioni:

- Corde e imbragature di sicurezza
- Coperte anti-esplosione per le aree cargo degli aerei
- Giubbotti e schermi anti -proiettile.

Vicenza 20 giugno 2005

19

Applicazioni di nanocompositi polimerici conduttori In corso di sperimentazione

- Vernici conduttrici
- Rivestimenti, sigillanti ed adesivi
- Fibre
- Film sottili, lamine spesse e tubi
- Schermaggio elettromagnetico per grandi componenti strutturali
- Vernici antistatiche e antiscarica

- Elevate proprietà di assorbimento ad alta frequenza \Rightarrow particolarmente adatto all'industria dei cavi schermati (co-estrusione, in sostituzione di calze metalliche)

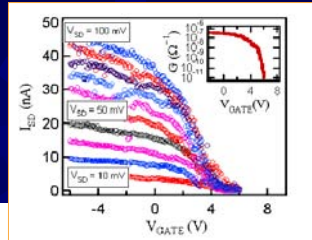
Sorgente: AFRL's Materials and Manufacturing Directorate

Vicenza 20 giugno 2005

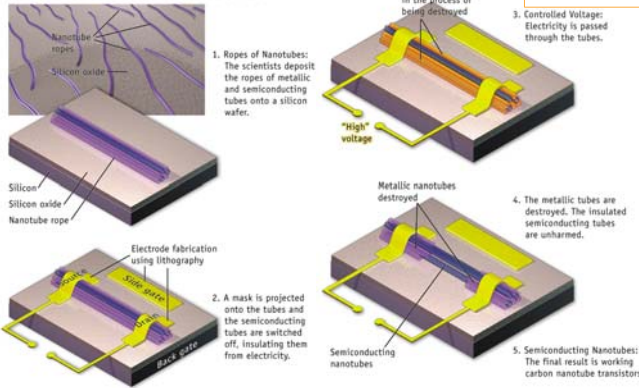
20

Primo transistor basato su nanotubi di carbonio

IBM Yorktown, aprile 2002



New Breakthrough Transistor Technology From IBM:
Carbon Nanotubes - Constructive Deconstruction



Vicenza 20 giugno 2005

21

Transistor emettitore di luce a NT di carbonio

IBM Yorktown, maggio 2003

Emissione a 1.5 micron

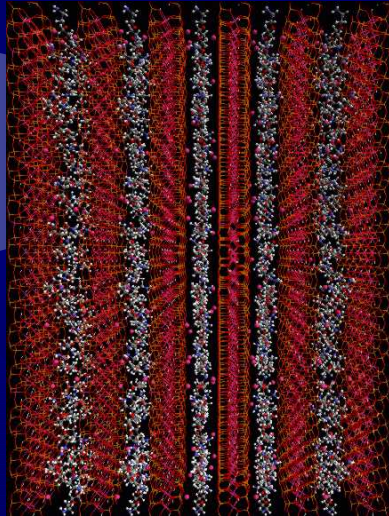


Vicenza 20 giugno 2005

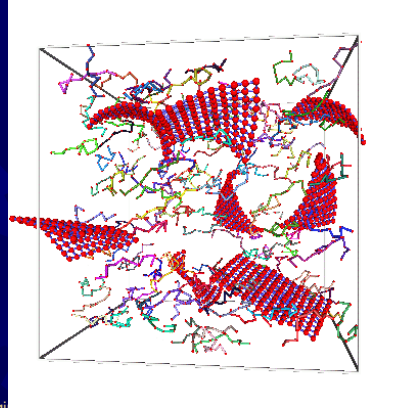
22

Argille e nanocompositi

Composito ottenuto per intercalazione di polimero in argilla (Na-Montmorillonite)



Composito di nano-lamelle di argilla defoliata in polimero



Vicenza 20 giugno 2005

23

Esempi di applicazioni

- Polimeri nanocompositi con bassa permeabilità ai gas
 - InMat®, fornitore di Wilson per le palle da tennis, sta ora sviluppando pneumatici e guanti sulla base di tecnologie simili
- Nanocompositi di olefine termoplastiche
 - Già utilizzata nei furgoni Astro- Chevrolet e Safari-General Motors per una piattaforma estraibile di carico-scarico
 - Costano come TPO convenzionale ma offrono rigidità, leggerezza e minor fragilità nei climi freddi
 - Più facile da riciclare per a minor quantità di additivo
- Aerogel nanocompositi come sostituti delle schiume poliuretatiche
 - Caratteristiche: leggero (0.1 g/cc); grande superficie interna (900 mq/g); inclusione di nanoparticelle che bloccano la radiazione IR)

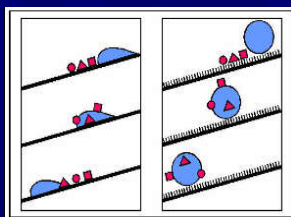
Vicenza 20 giugno 2005

24

Superfici auto-pulenti: Effetto loto



10 μm



W. Barthlott, Univ. of Hamburg

Su una superficie liscia le particelle contaminanti sono solo spostate dal movimento delle goccioline d'acqua (sinistra).

Su una superficie rugosa esse aderiscono alla goccia e rotolano via dalla foglia che rimane pulita (destra).



Cera epicuticolare



Vicenza 20 giugno 2005

(Source: Metin Sitti, ²⁶CMU)

Applicazione del principio al tessile



Una spin-off ora posseduta da Burlington Industries®

Le fibre di cotone sono ricoperte da una "peluria" (nano-whiskers) che rende la loro superficie simile alla pelle di pesca.

Il processo consiste in (i) immersione in una sospensione di nano-whiskers e (ii) trattamento termico.

La peluria crea un cuscino d'aria che assicura l'"effetto loto".



THINK. CAREFREE.

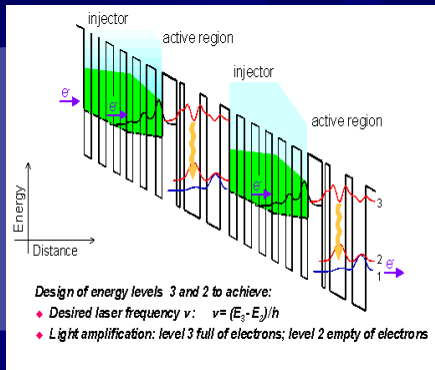
I pantaloni Khaki resistono alle macchie ed alle pieghe ma traspirano.

Rispetto ai normali pantaloni, costano \$ 5 in più.

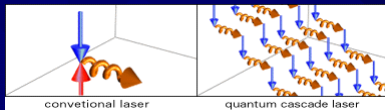
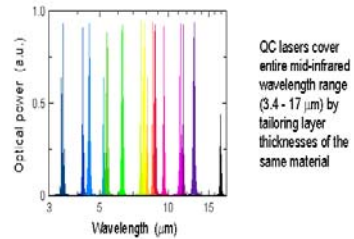
Vicenza 20 giugno 2005

26

Nanofotonica: Quantum cascade lasers ottenuti con Quantum Wells



Wide wavelength-range of QC lasers



BELL Labs

LIDAR

Vicenza 20 giugno 2005

29

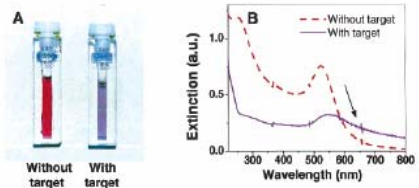
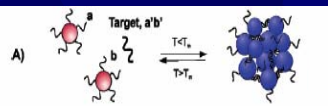
Nanofotonica: Nanoparticelle di metalli (Au, Ag, ...)

Licurgo cup (IV sec. AD)



Au Nanoparticelle (5-10 nm) usate per il loro colore

Test DNA



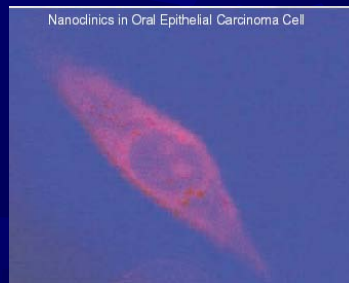
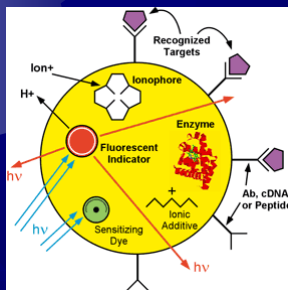
Riconoscimento di singoli nucleotidi con Au Nanoparticelle funzionalizzate

Vicenza 20 giugno 2005

30

Nanofotonica: Nanoclinics e PEBBLES

small spheres,
big potential



Nanorivelatori ottici di funzioni cellulari e di cellule alterate

Vicenza 20 giugno 2005

31

Caratteristiche delle nanotecnologie

- ☀ **Tecnologie alternative**
 - Sostituiscono precedenti tecnologie e rendono possibili l'imporre di prodotti e processi radicalmente nuovi
- ☀ **Tecnologie abilitanti**
 - Come l'elettricità, il motore a combustione interna, Internet, il suo impatto sulla società sarà ampio e spesso imprevedibile
- ☀ **Tecnologie interdisciplinari**
 - Porteranno a lavorare insieme ricercatori di settori scientifici tradizionalmente separati favorendo la nascita di nuove idee attraverso la fertilizzazione incrociata

Vicenza 20 giugno 2005

32

La costituzione sociale di una nuova tecnologia

Deve offrire risposte a domande quali:

- Chi la controlla?
- Dove posso avere informazioni credibili?
- In che termini viene introdotta la nuova tecnologia?
- Che rischi ci sono, con quale grado di certezza e per chi?
- A chi vanno i benefici?
- Rischi e benefici ricadono sulle stesse persone?
- Chi si assume la responsabilità di possibili problemi?

Valutazione conclusiva

- Ci sono ancora questioni aperte per l'uso massivo delle nanotecnologie in ambito sociale
- Ma c'è il tempo per capire e creare un consenso informato, prevenendo i fenomeni di confronto e tensione verificatisi per esempio intorno alla vicenda delle biotecnologie

CIVEN – Consorzio Universitario Veneto per le Nanotecnologie

Costituito dalle Università di Padova, di Venezia-Ca'Foscari e ultimamente di Verona, per la promozione di attività di ricerca e di formazione nel campo delle nanotecnologie

Le iniziative (già in fase di realizzazione): due progetti con finanziamento regionale

1. **Progetti di ricerca e sperimentazione industriale** (presso la NanoFabricationFacility (NFF))
2. **"International Master in Nanotechnologies"**

Progetti di ricerca e sperimentazione industriale

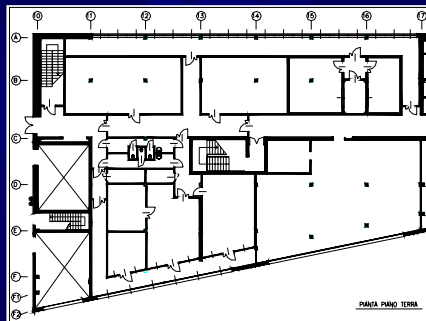
Attuatore: CIVEN

Finanziamento Regione Veneto: 4.8 M€

- Nanostrutture per sensori chimici e biochimici
- Deposizione di strati ad elevate proprietà tribologiche e resistenza a corrosione
- Costruzione di microarray finalizzati allo studio della genomica e della proteomica
- Deposizione di film sottili di dimensioni nanometriche e di rivestimenti spessi di nanocompositi di tipo inorganico, organico o ibrido
- Materiali nanostrutturati per rivestimenti protettivi o decorativi

La NanoFabrication Facility (NFF)

Valore del progetto: 7 M€
Cofinanziamento regionale
(DOCUP-FESR): 4.6 M€



Strutture di ricerca e attività specifiche

- Deposizione di strati sottili per mezzo di PECVD (*Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*)
- Compattazione e sinterizzazione di nanopolveri

Vicenza 20 giugno 2005

37

L'accesso alla NFF

- A. Acquisto di servizi offerti dalla NFF, tipicamente per analisi e prove ma anche per le attività finalizzate alla realizzazione di prototipi una tantum
- B. Accesso ed utilizzazione delle apparecchiature direttamente da parte di ricercatori o tecnici delle imprese con l'assistenza, ove necessario, del personale della NFF
- C. Attuazione di progetti di ricerca e sperimentazione industriale in collaborazione impresa-NFF anche con la partecipazione di ricercatori CIVEN

Vicenza 20 giugno 2005

38

CIVEN – International Master in Nanotechnologies

- **Tipologia:** Programma formativo annuale per laureati (laurea specialistica o equivalente)
- **Obiettivo:** Formare la figura professionale del “Nanotechnology Manager”
- **Programma:** Il Master fornirà le conoscenze tecnico-scientifiche ed economico-gestionali necessarie a guidare percorsi strategici di sviluppo in aziende che impiegano le nanotecnologie.
- **Docenza:** I docenti del corso saranno esperti di fama internazionale (lezioni in inglese)
- **Stages & placement:** Stage di 3 mesi presso aziende/enti, anche all'estero, che impiegano le nanotecnologie. Priorità per un successivo impiego presso aziende venete.