Materiali 2D: Caratteristiche, Tipologie e Applicazioni

Introduzione ai Materiali 2D

I materiali 2D, o materiali a singolo strato, sono materiali con singoli strati di atomi. In una visione più micro, i materiali 2D sono materiali su scala nanometrica. L'esempio più famoso di materiale 2D è il grafene, costituito da allotropi di carbonio in una nanostruttura a reticolo esagonale e isolato per la prima volta nel 2004.

Il grafene monostrato possiede proprietà uniche. Ha una resistenza alla trazione centinaia di volte superiore a quella della maggior parte degli acciai in termini di peso. Ha anche la più alta conducibilità termica ed elettrica. A causa delle superbe proprietà del grafene, molti studi e ricercatori si sono dedicati allo sviluppo di altre reti di carbonio a singolo atomo, come la grafdiyne, il grafenilene e altre ancora. Il grafene diventa il pioniere nello sviluppo di materiali 2D.

Definizione e Classificazione dei Materiali 2D

Se pensiamo ai materiali in tre dimensioni, i materiali 2D sono materiali che hanno solo una dimensione nanometrica. Se i materiali hanno tutte e tre le dimensioni nanometriche, sono materiali 0D.

Classificazione dei Materiali per Dimensionalità:

Numero di dimensioni nanometriche	Classificazione	Esempio
3	0D	Punti quantitativi
2	1D	Nanotubi, nanofili, nanoribbons
1	2D	Materiali spessi un atomo come il grafene
0	3D (Bulk)	Materiali generici che si possono vedere

I materiali 2D si dividono in elementi, composti metallici, organici e sali. Alcune tipologie principali includono:

1. **Grafene**: Costituito da allotropi di carbonio in una nanostruttura a reticolo esagonale
2. **Nitruro di boro esagonale (h-BN)**: Un isomorfo del grafene, con la differenza che il carbonio è sostituito da boro e nitruro
3. **Dicalcogenuri di metalli di transizione (TMDC)**: Come MoS2, con formula chimica MX2 (M è il metallo di transizione come Mn; X è il calcogeno come S, Se e Te)

Metodi di Produzione dei Materiali 2D

Esistono due approcci principali per produrre materiali 2D:

1. Approccio Top-Down

Consiste nel tagliare materiali di grandi dimensioni o alla rinfusa in un processo controllato e nel rimuovere gli strati prodotti. I processi top-down possono essere suddivisi in: - Esfoliazioni meccaniche - Esfoliazioni in fase liquida - Esfoliazioni a ultrasuoni - Esfoliazioni elettrochimiche - Esfoliazioni a scambio ionico - Esfoliazioni con intercalare di litio

Esfoliazione Meccanica Utilizza una forza meccanica per separare uno strato sottile o alcuni strati sottili di materiale da un materiale sfuso. Di solito, si usa un pezzo di "nastro adesivo" per staccare il materiale sfuso e raccogliere gli strati sottili. Il problema principale è la bassa efficienza e la resa.

Esfoliazione Liquida Può coprire gli svantaggi dell'esfoliazione meccanica utilizzando un solvente organico come intermediario per trasportare la forza meccanica al materiale sfuso. La sonicazione fornisce una sollecitazione di trazione a ogni strato, che separa ogni strato. Tuttavia, i materiali 2D prodotti mediante esfoliazione liquida possono presentare residui di solvente organico, il che rende i materiali 2D non adatti ad alcune applicazioni ottiche.

2. Approccio Bottom-Up

Utilizza elementi atomici o molecolari e li "combina" insieme per formare materiali 2D. Tra i metodi bottom-up, vi sono: - Crescita epitassiale - Deposizione chimica da vapore (CVD) - Deposizione laser pulsata (PLD) - Metodi chimici a umido - Metodo rowaveassisted - Trasformazione topochimica

Deposizione Chimica da Vapore (CVD) Può produrre materiali 2D di alta qualità e ad alta efficienza in dimensioni controllate. All'interno di un forno riscaldato, uno o più gas precursori contenenti elementi atomici o molecolari colpiscono un substrato e i materiali 2D crescono sul substrato. La CVD è stata applicata con successo per produrre grafene e TMDC. Le pressioni dei gas, la temperatura, il tempo di reazione, ecc. giocano un ruolo importante nella qualità, nello spessore e nella composizione dei materiali 2D.

Vantaggi dei Materiali 2D

Rispetto al materiale sfuso, il materiale 2D presenta numerosi vantaggi:

1. **Assenza di forze di Van der Waals**: I materiali 2D non presentano forze di Van der Waals a causa della loro struttura monostrato, ma solo legami covalenti, il che conferisce loro una resistenza alla trazione estremamente forte.

2. **Elevato rapporto superficie/volume**: La struttura monostrato del materiale 2D gli conferisce un rapporto superficie/volume relativamente elevato. Può mettere in contatto un maggior numero di reagenti per realizzare reazioni più rapide.
3. **Proprietà elettroniche e ottiche superiori**: Il materiale 2D mostra buone proprietà elettroniche e ottiche perché la riduzione della periodicità nella direzione perpendicolare al piano modifica la struttura a bande.
4. **Resistenza meccanica**: Il grafene è il materiale con la più alta resistenza alla trazione in natura.

Applicazioni dei Materiali 2D

I materiali 2D sono ampiamente utilizzati in diverse applicazioni:

1. **Elettronica**: Transistor, fotorivelatori, semiconduttori, condensatori, memristori
   - I TMDC (MoS2, WSe2, WS2) sono ampiamente utilizzati nei transistor a effetto campo (FET)
   - Le eccellenti proprietà dielettriche dei film di h-BN consentono di combinarli con altri materiali nei condensatori
2. **Materiali compositi**:
   - L'ossido di grafene è spesso utilizzato per realizzare compositi di fibre, film o strutture 3D
   - Combinando il 50% di ossido di grafene con il 50% di nanofibrille di cellulosa (CNF), l'aerogel preparato mostra una maggiore resistenza e rigidità
3. **Riduzione dell'infiammabilità**:
   - L'elevato rapporto superficie/volume del grafene riduce l'infiammabilità dei gas
   - Il grafene può essere utilizzato come additivo per aumentare la resistenza all'infiammabilità dei compositi polimerici
4. **Memristori**:
   - Il grafene mostra buone prestazioni nei memristori grazie alla sua elevata conducibilità elettrica, stabilità chimica e alta mobilità dei portatori
   - Anche TMDC, BN o BP possono essere utilizzati nei memristori

Conclusioni

I materiali 2D rappresentano una frontiera promettente nella scienza dei materiali, con il grafene come pioniere. Le loro proprietà uniche, come l'elevata resistenza meccanica, l'eccellente conducibilità e l'alto rapporto superficie/volume, li rendono candidati ideali per numerose applicazioni in vari settori industriali. Con il continuo sviluppo delle tecniche di produzione e la scoperta di nuovi materiali 2D, il loro potenziale di applicazione continuerà ad espandersi.

Riferimenti

1. Materiali 2D: Un'introduzione ai materiali bidimensionali. Ossila. Recuperato il 28 gennaio 2023, da https://www.ossila.com/en-us/pages/introduction-2d-materials.