

HORIZON  
2020

# Pulsed plasma technology for 2D materials integration

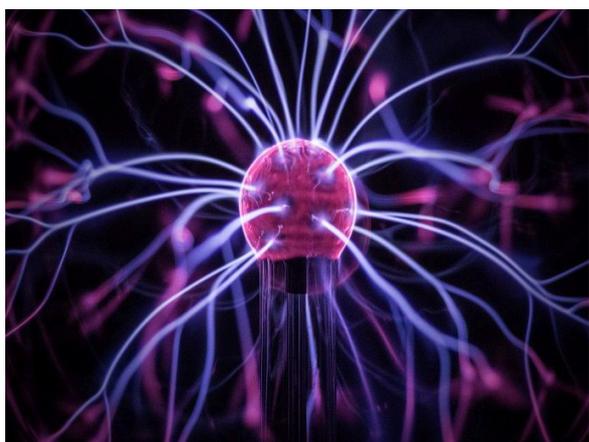
## Risultati in breve

### Nuove tecniche basate sul plasma per la fabbricazione dell'elettronica ad alte prestazioni di domani

Nel contesto odierno di crescente interesse per nuovi materiali potenzialmente in grado di sostituire il silicio nei dispositivi elettronici ad alte prestazioni del futuro, i materiali 2D come i dicalcogenuri dei metalli di transizione (TMD, transition metal dichalcogenides) hanno attirato un interesse significativo grazie alle loro proprietà elettroniche, ottiche e meccaniche uniche. Un'iniziativa dell'UE ha affrontato il compito molto impegnativo di comprendere e gestire nuove tecnologie al plasma a impulsi per l'integrazione su larga scala dei TMD in dispositivi sofisticati.



ENERGIA



© CandMe, Shutterstock

Le eccezionali proprietà dei TMD sono già state dimostrate su fiocchi esfoliati meccanicamente; ciononostante, l'integrazione ad ampio raggio di questi materiali in dispositivi complessi continua a presentare immense difficoltà. «Data l'estrema sensibilità e fragilità dei cristalli 2D rispetto ai materiali sfusi tradizionali, tutte le tecnologie di lavorazione impiegate negli impianti di fabbricazione di semiconduttori devono essere riviste», afferma Stefan De Gendt, principale supervisore del progetto PULSE2D, finanziato

dall'UE. «Abbiamo sviluppato una tecnologia basata sul plasma per pulire, funzionalizzare e incidere i materiali TMD con una precisione a livello atomico». Questa ricerca è stata intrapresa con il supporto del programma Marie Skłodowska-Curie.

## La lavorazione mediante plasma dei materiali TMD su wafer interi

Daniil Marinov, assegnatario di una borsa di studio individuale Marie Skłodowska-Curie, ha iniziato i propri lavori acquisendo informazioni sui meccanismi sottostanti alle interazioni tra plasma e TMD. Egli ha dimostrato che persino in assenza di tensione di polarizzazione applicata, gli ioni plasmatici a bassa energia (al di sotto dei 10 eV) sono in grado di danneggiare gli strati 2D in modo irreparabile. «Ciò significa che, in caso di processi a bassa produzione di danni come la pulizia e la funzionalizzazione, il bombardamento ionico dovrebbe essere del tutto escluso», spiega Marinov. «Ecco perché abbiamo indagato a fondo sull'applicazione a distanza di una sorgente di plasma».

In collaborazione con l'istituto coordinatore del progetto, il Centro di microelettronica interuniversitaria (IMEC, Interuniversity Microelectronics Centre), il ricercatore ha dimostrato che i residui polimerici vengono completamente eliminati dal plasma H<sub>2</sub> applicato a distanza, con una conseguente modifica solamente marginale delle proprietà del materiale. «Nessuna delle tecnologie di pulizia esistenti è in grado di rimuovere completamente i residui polimerici senza danneggiare gli strati 2D», sottolinea Marinov.

Avvalendosi sin dall'inizio di simulazioni, il team ha approfondito i meccanismi alla base delle interazioni tra plasma e superficie. Per ridurre la resistenza di contatto nei transistori a effetto di campo basati su TMD, la squadra di ricerca ha applicato a distanza con successo il plasma a idrogeno in combinazione con il doping molecolare. «La pulizia mediante plasma può ridurre la resistenza di contatto, un effetto di primaria importanza in quanto i contatti limitano le prestazioni dei dispositivi TMD su scala ultra ridotta».

Marinov si è inoltre concentrato sull'applicazione dell'incisione di strati atomici (ALE, atomic layer etching) per l'integrazione dei TMD su scala di wafer. «L'incisione selettiva del dielettrico di gate è una fase fondamentale per il contatto del canale dei TMD nei transistori a effetto di campo», approfondisce. Marinov e il team di IMEC hanno esaminato l'ALE degli strati ad alta costante dielettrica  $k$  nella reazione chimica  $\text{BCl}_3/\text{Cl}_2$ . I risultati mostrano che, mediante l'impiego del processo ALE, è possibile rimuovere selettivamente i materiali dielettrici di gate nel biossido di silicio depositato all'interfaccia ad alta  $k$  dei TMD. «Per la prima volta, ciò consente la formazione di contatti superficiali sugli strati 2D in un modo sostenibile per gli impianti di fabbricazione di semiconduttori».

## Potenziare la nucleazione per la deposizione di strati atomici

Un altro obiettivo del progetto era migliorare la chiusura del film nel corso della deposizione di strati atomici (ALD, atomic layer deposition) del dielettrico di gate sul bisolfuro di molibdeno (MoS<sub>2</sub>). «Abbiamo dimostrato che il pre-trattamento con plasma a idrogeno applicato a distanza combinato con il doping molecolare con Cl<sub>2</sub> e solfuro di carbonile può essere utilizzato per migliorare la nucleazione per l'ALD su una superficie di TMD», continua Marinov. «Ciononostante, il miglioramento della nucleazione va a discapito dell'integrità del materiale». Per risolvere questo problema, è stato proposto un processo ALD alternativo con un'esposizione prolungata della superficie di TMD alle molecole precursori.

«I processi plasmatici sviluppati nell'ambito di PULSE2D e i nuovi e fondamentali elementi di comprensione acquisiti in relazione alle interazioni tra plasma e superficie con i materiali 2D verranno implementati per la produzione di nuovi dispositivi basati su tali materiali per applicazioni nei campi della logica, della mnemotecnica e dell'optoelettronica», conclude Marinov.

## Parole chiave

PULSE2D, TMD, plasma, ALE, strati 2D, materiali 2D, materiali TMD, interazioni tra plasma e superficie

## Scopri altri articoli nello stesso settore di applicazione

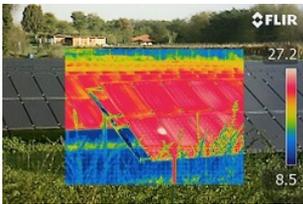


Una tecnologia di conversione dei rifiuti trasforma l'industria della cura della persona, passando a prodotti a zero rifiuti



Immettere sul mercato elettrodomestici senza fili a ricarica rapida





Una soluzione alla rottura per celle solari durevoli



Acquisire indizi molecolari sul doppio strato elettrico



#### Informazioni relative al progetto

##### **PULSE2D**

ID dell'accordo di sovvenzione: 752164

##### **DOI**

[10.3030/752164](https://doi.org/10.3030/752164)

Progetto chiuso

##### **Data della firma CE**

30 Marzo 2017

##### **Data di avvio**

1 Settembre 2017

##### **Data di completamento**

31 Agosto 2019

##### **Finanziato da**

EXCELLENT SCIENCE - Marie Skłodowska-Curie Actions

##### **Costo totale**

€ 160 800,00

##### **Contributo UE**

€ 160 800,00

##### **Coordinato da**

INTERUNIVERSITAIR MICRO-ELECTRONICA CENTRUM

Belgium

**Ultimo aggiornamento:** 14 Febbraio 2020

**Permalink:** <https://cordis.europa.eu/article/id/413465-new-plasma-based-techniques-for-fabricating-tomorrow-s-high-performance-electronics/it>

European Union, 2025

