

## Laboratoire **PROCEDES**, **MATERIAUX** et **ENERGIE SOLAIRE**

**Dépôts par plasma de couches minces pour application photovoltaïque :**

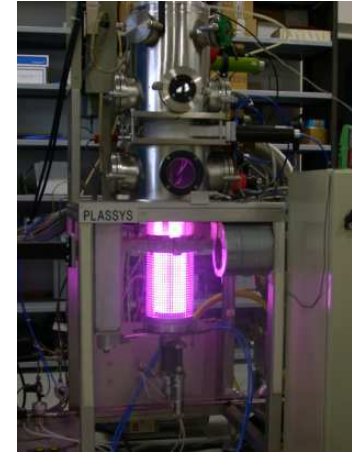
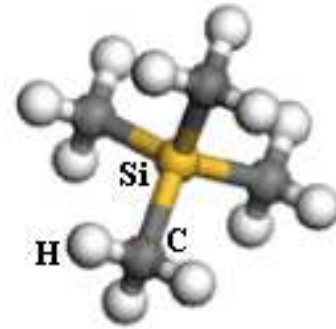
**Couches antireflet et de passivation déposées sur cellules silicium cristallin**



Journées  
Plasmas froids – Photovoltaïque  
8 & 9 novembre 2010



# Plasmas pour le photovoltaïque



Plasma à pression atmosphérique

Plasma basse pression

Procédé en continu

Précurseurs  
organosiliciés liquides

Plasma à forte densité

Cadence de production  
plus élevée

Diminution des coûts /  $\text{SiH}_4$

Vitesses de dépôt ou de  
gravure élevées

**Développement, optimisation** du procédé et **contrôle in-situ**,

**Nouveaux matériaux** :  $\text{SiC:H}$ ,  $\text{SiCN:H}$ ,  $\text{SiCO:H}$  pour **CAR** et **passivation**

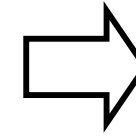
Alternative au silane : **précurseurs** siliciés **liquides**

# Dépôt de nitrure de silicium $\text{SiN}_x\text{:H}$ à la pression atmosphérique

*Actuellement dans l'industrie : traitements par lots*

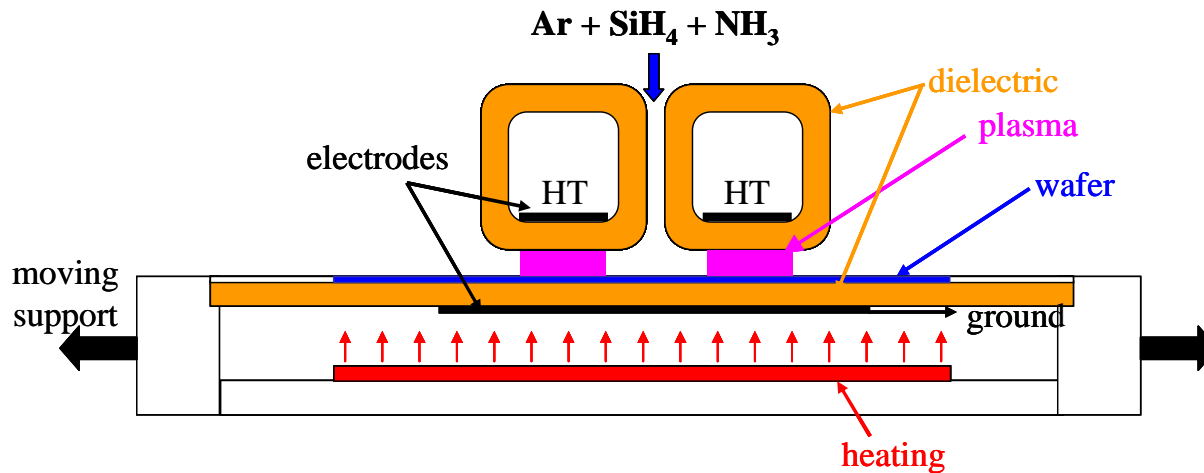


Etape limitante pour la production des cellules PV par PECVD basse pression



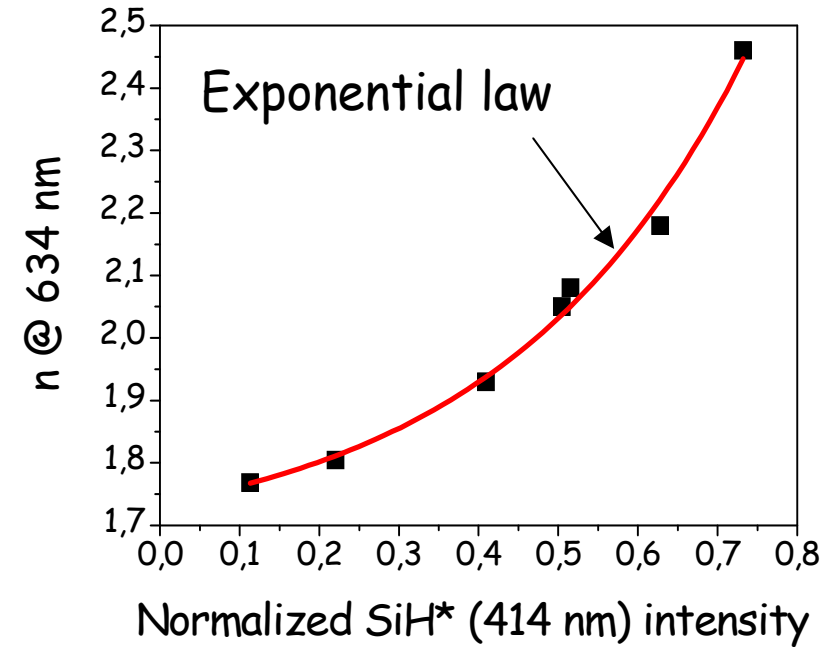
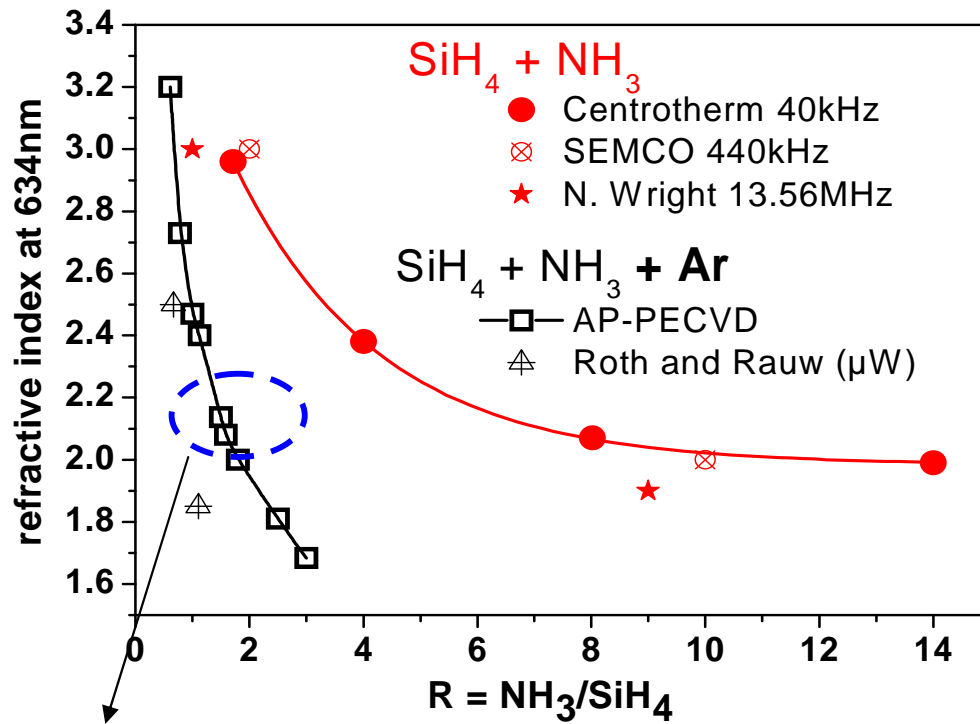
Intérêt d'un procédé en ligne travaillant à la pression atmosphérique

 Décharge par Barrière Diélectrique (**DBD**) homogène : mélange  $\text{Ar} / \text{SiH}_4 / \text{NH}_3$



Cellule 5 x 5 cm<sup>2</sup> sur mc-Si

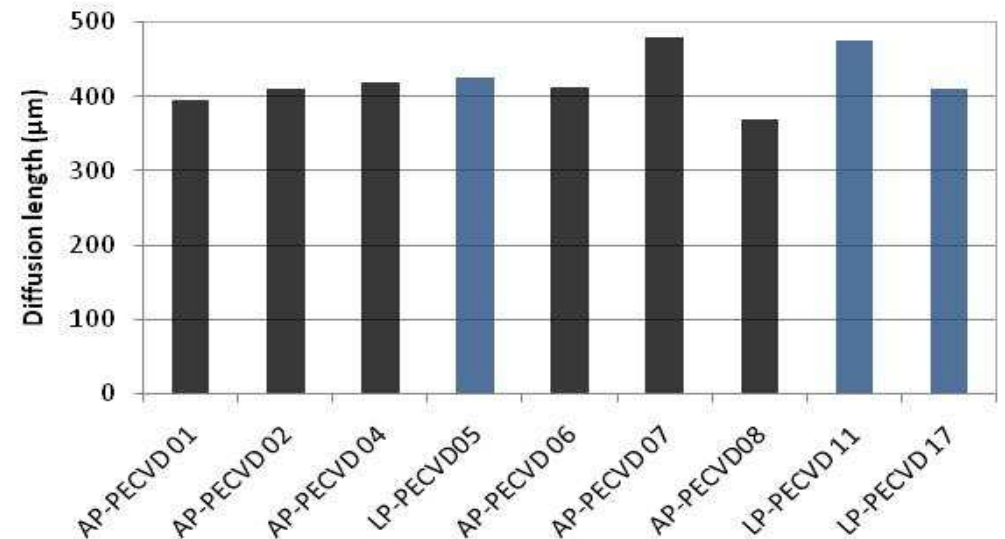
# Dépôt de nitrure de silicium $\text{SiN}_x\text{:H}$ à la pression atmosphérique



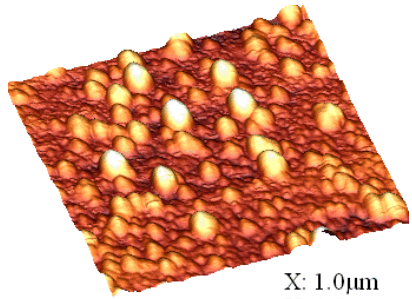
## Suivi in-situ du procédé

## CAR

Cellules  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  sur mc-Si :  
 Longueur de diffusion ( i.e passivation de volume ) **équivalente** entre la basse et la pression atmosphérique

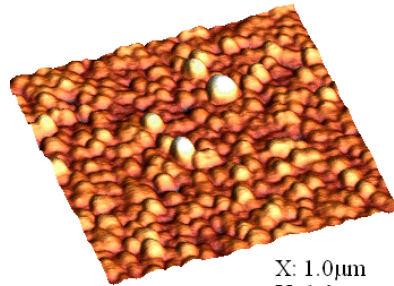


# Dépôt de nitrure de silicium $\text{SiN}_x\text{:H}$ à la pression atmosphérique



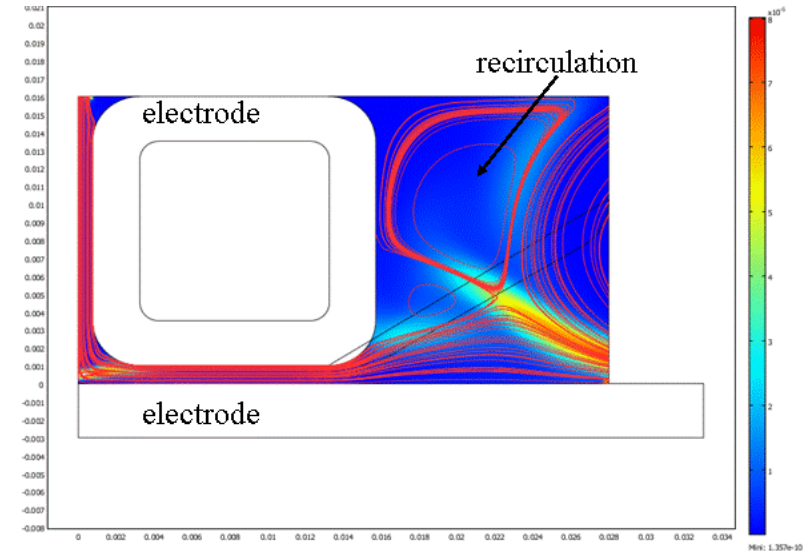
X: 1.0 $\mu\text{m}$   
Y: 1.0 $\mu\text{m}$   
Z: 17.7nm

AP-PECVD :  $R_a \approx 2,2 \text{ nm}$



X: 1.0 $\mu\text{m}$   
Y: 1.0 $\mu\text{m}$   
Z: 8.7nm

LP-PECVD :  $R_a \approx 1 \text{ nm}$



Poudres  $\rightarrow$  densité diminue et absorption augmente

modification des propriétés (n, e) lors du RTA

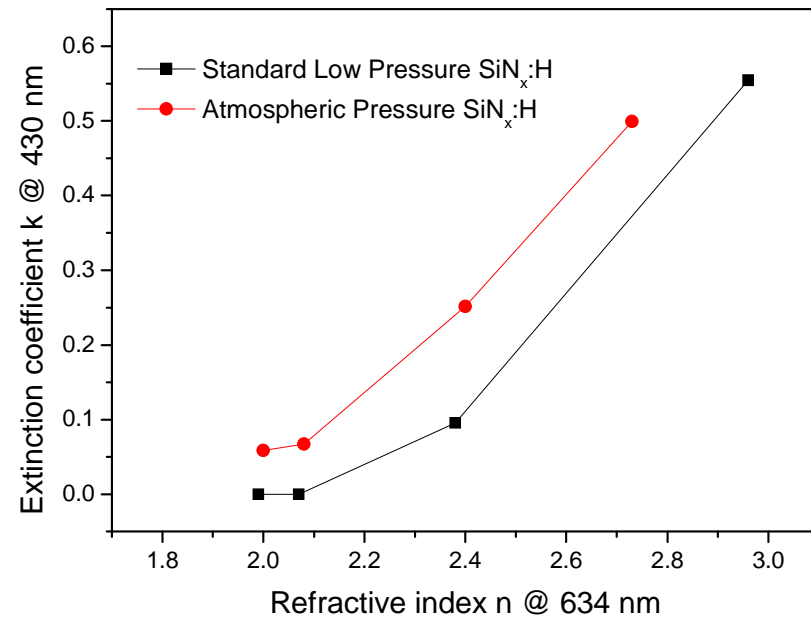


Pour un même indice de réfraction n :

$$k_{\text{atmosphérique}} > k_{\text{basse pression}}$$



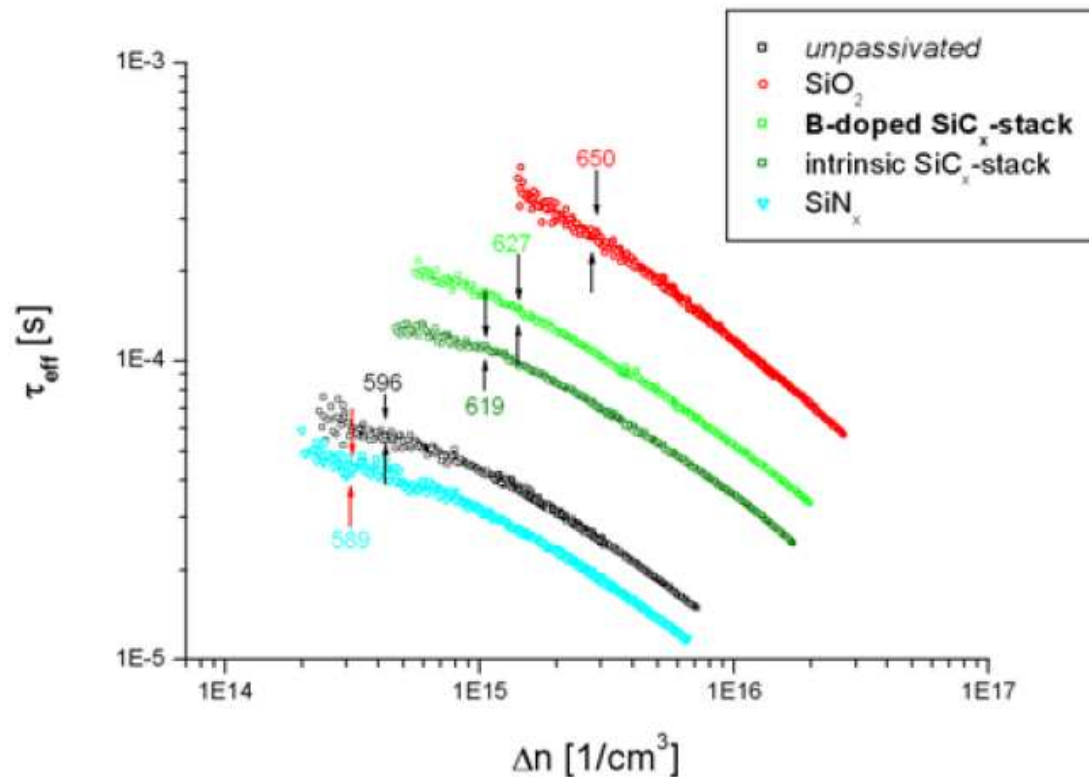
diminution du courant  $I_{cc}$



# Nouveaux matériaux pour passivation : PECVD basse pression

Réduction des coûts de fabrication des cellules photovoltaïques silicium

- ➡ nouvelles architectures : cellules de type n / cellules amincies
- ➡ il faut passiver du silicium de type p : émetteur p<sup>+</sup> / face arrière
- ➡ développement de nouveaux matériaux



IMPROVEMENTS IN THE PASSIVATION OF P<sup>+</sup>-SI SURFACES BY PECVD SILICON CARBIDE FILMS  
R. Petres et al., University of Konstanz, 4<sup>th</sup> WCPEC (2007).

➡ Matériaux de la famille des **SiC(N)(O):H** sont des candidats très prometteurs

# Nouveaux précurseurs pour CAR et passivation : PECVD basse pression

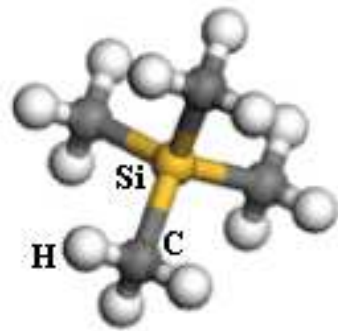
Réduction des coûts de fabrication des cellules photovoltaïques silicium

⇒ Trouver une alternative au silane ( $\text{SiH}_4$ ) : gaz pyrophorique

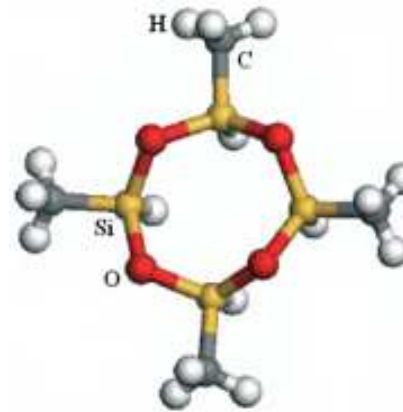
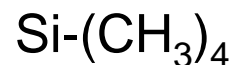
⇒ Précurseurs organosilicés liquides

## Intérêt des précurseurs liquides :

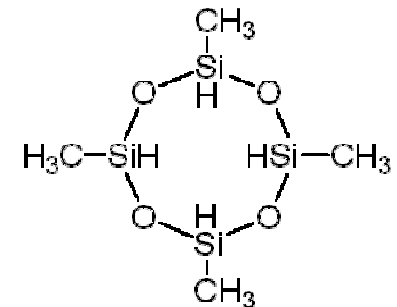
- Sécurité : produits chimiquement stables
- Vitesses de dépôt élevées
- Prédiction des liaisons fonctionnelles dans le film à travers le choix du précurseur



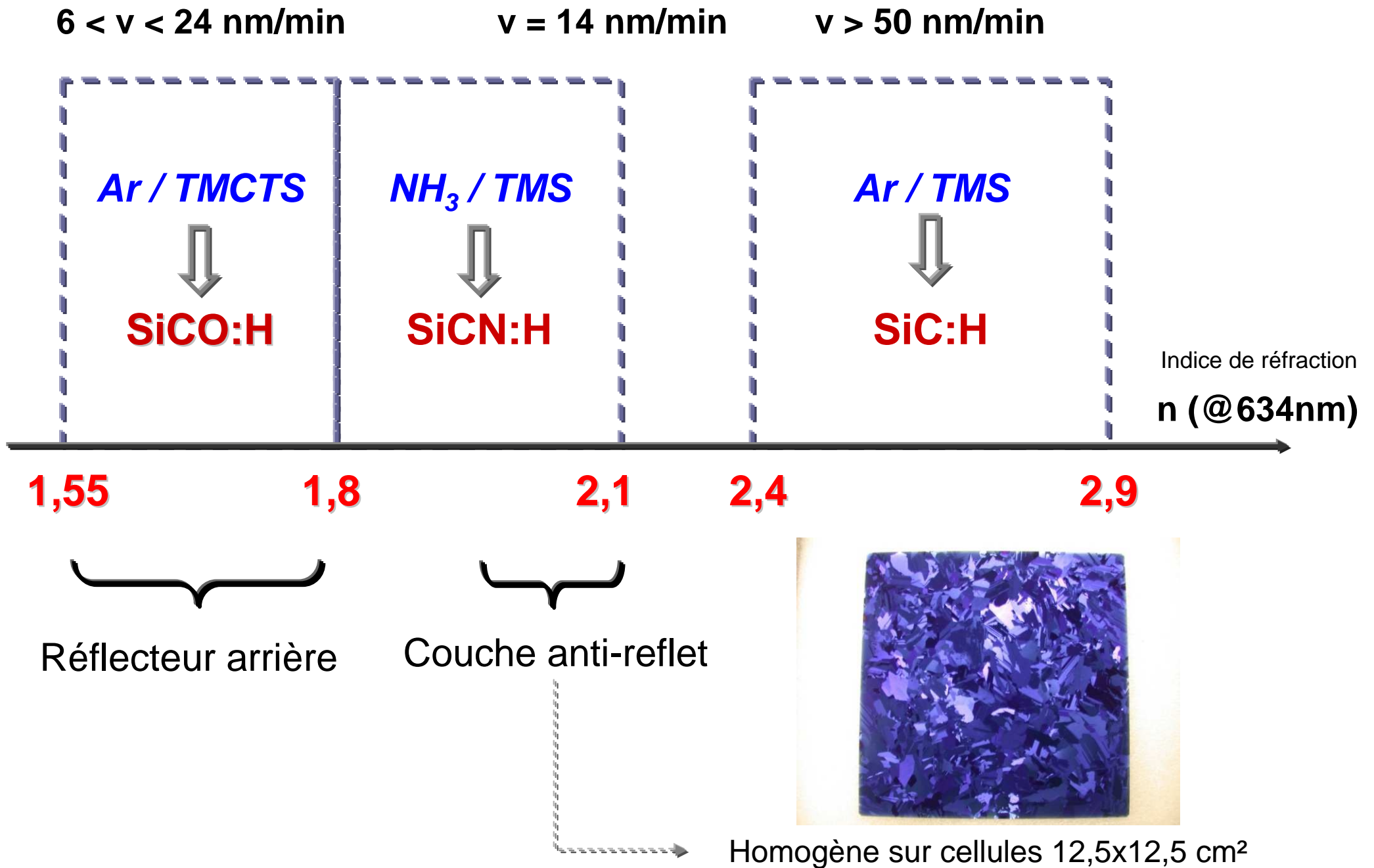
**Tetramethylsilane (TMS)**



**Tetramethylcyclotetrasiloxane (TMCTS)**



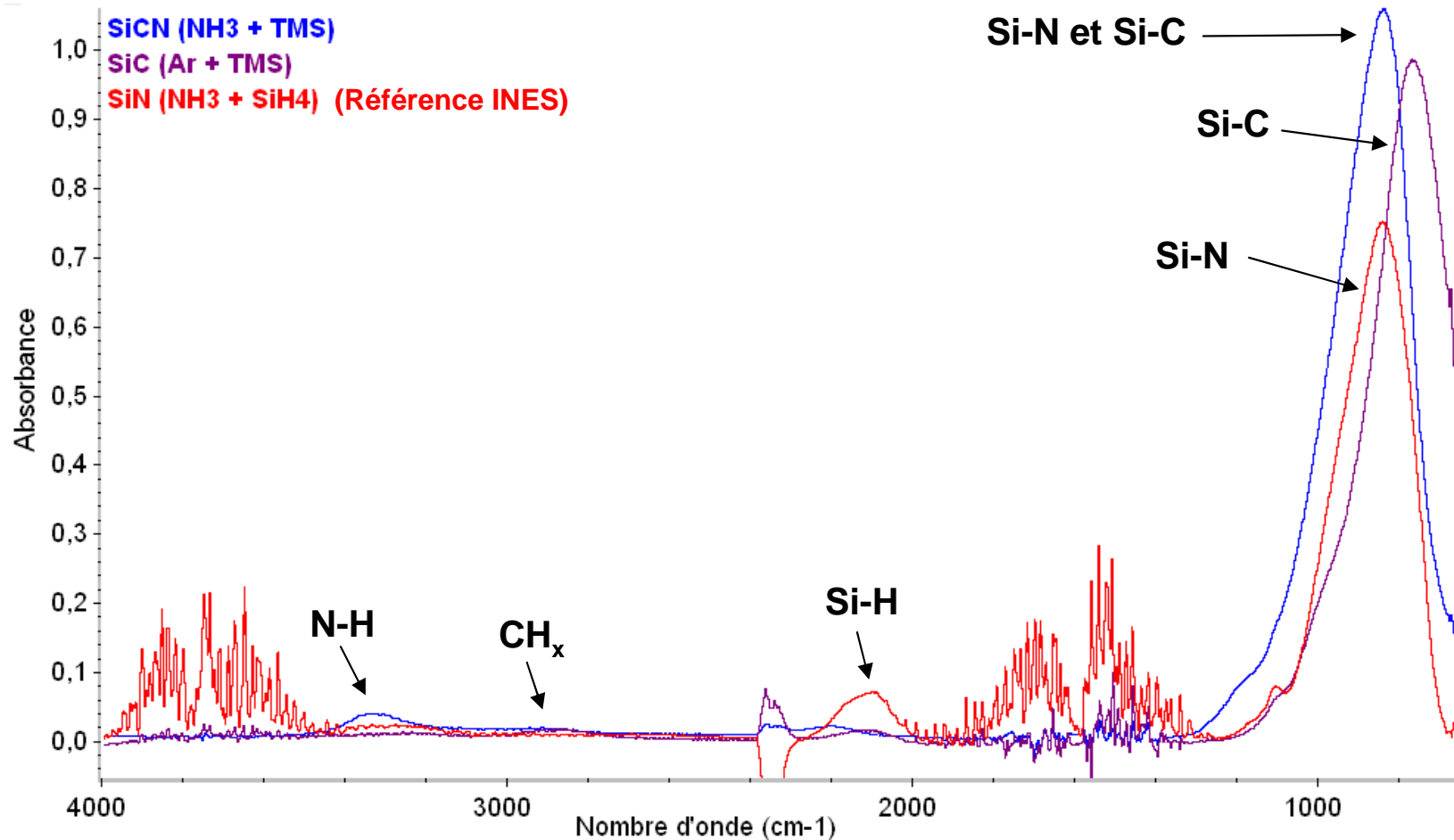
# Nouveaux matériaux / précurseurs pour CAR et passivation





# Nouveaux matériaux / précurseurs pour CAR et passivation

Plasma Ar-NH<sub>3</sub> (**SiC:H**) // Plasma Ar-NH<sub>3</sub>-TMS (**SiCN:H**)



Chimie du plasma → physico-chimie des couches déposées : **contiennent ± d'hydrogène**

⇒ Influence des différentes liaisons chimiques sur la passivation ?

## Quelques points qui (me) semblent importants ?

### ▪ Aspect couche anti-reflet :

- Absorption dans la couche (compromis avec passivation : ex : SiN:H riche en Si)
- Prise des contacts électriques adaptée au matériau et à l'architecture cellule
- Nanocristaux dans la couche → absorption, 3<sup>o</sup> génération ?

### ▪ Aspect passivation :

Passivation de surface : interaction plasma-surface et propriétés électriques des dépôts :

- Préparation de la surface : nettoyage chimique / nettoyage plasma in-situ ?
- 1<sup>ères</sup> étapes de croissance
- Bombardement ionique ? Pré-plasma pour hydrogénation ?
- Charges fixes et/ou mobiles : signe ( + / - ), densité ← *architecture cellule*

Passivation de volume : chimie du plasma → physico-chimie des dépôts :

- Quantité et liaisons hydrogènes : Si-H, C-H, N-H ?
- Compromis avec passivation de surface : ex : SiN : riche en N : charge fixe importante  
riche en Si : passivation par H

Dépôts multicouches pour assurer les 2 rôles

### ▪ **Adéquation** matériau déposé / étapes technologiques :

exemple : couplage recuit des contacts - antireflet - passivation