

Φ – 575 Διάλεξη 09

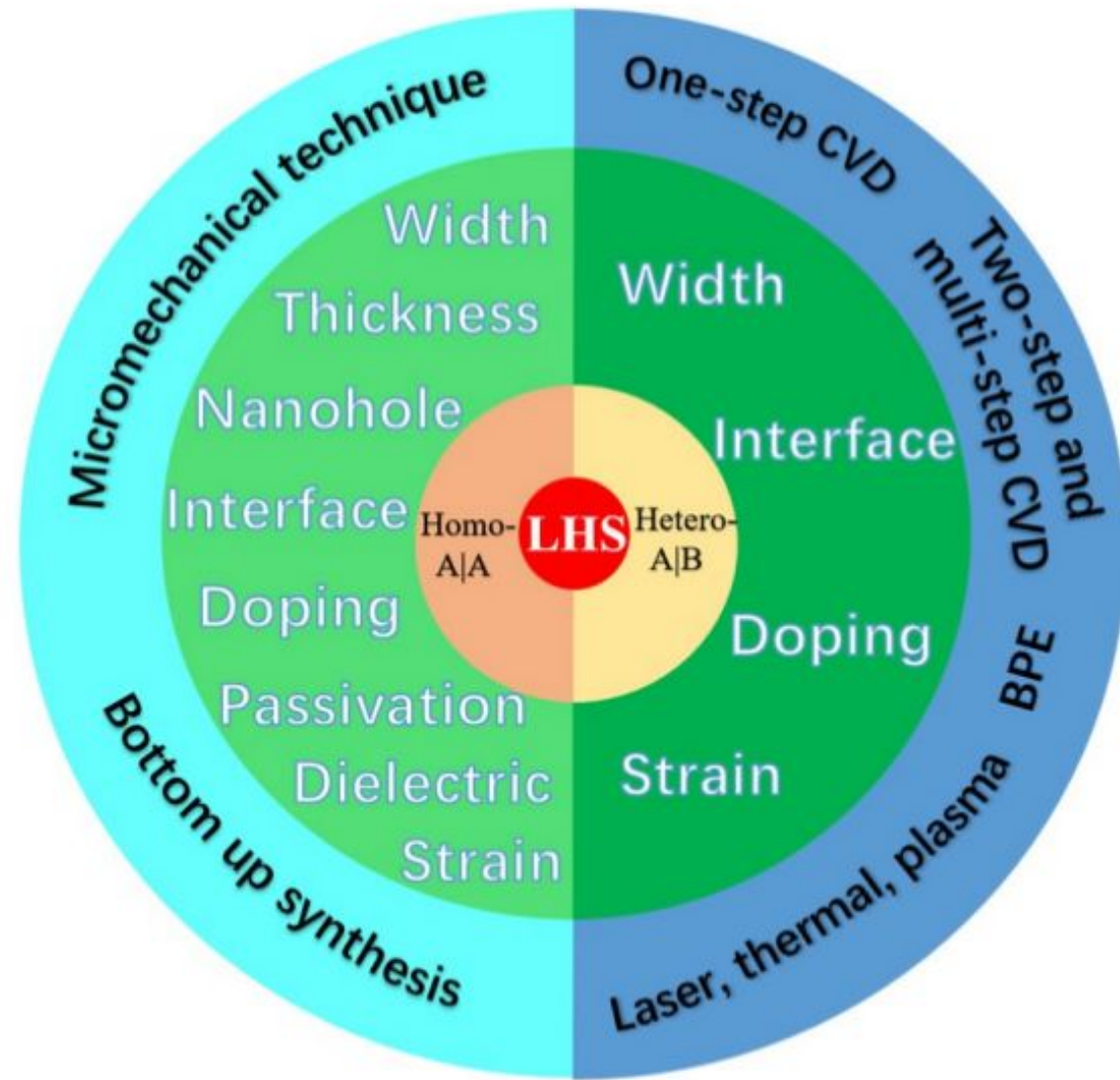
Φυσική διατάξεων δισδιάστατων ημιαγωγών

Γιώργος Δεληγεώργης (deligeo@physics.uoc.gr)



Αρχικός προβληματισμός:

- Αν βάλω δύο μονοατομικά στρώματα υλικού σε επαφή
 - α) Παιρνω το αθροισμα?
 - β) Παιρνω κατι νέο?



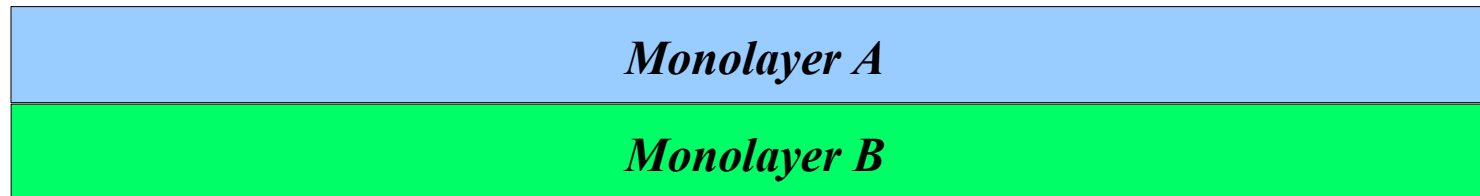
Οριζόντιες ετεροδομές



Ενας κρύσταλλος του οποίου τα στοιχεία αλλάζουν στις δυο περιοχές

- Δημιουργία με μετατροπή ενo υλικού σε ένα άλλο
- π.χ. Αντικατάσταση ανιόντων (Se \rightarrow S)

Κατακόρυφες ετεροδομές



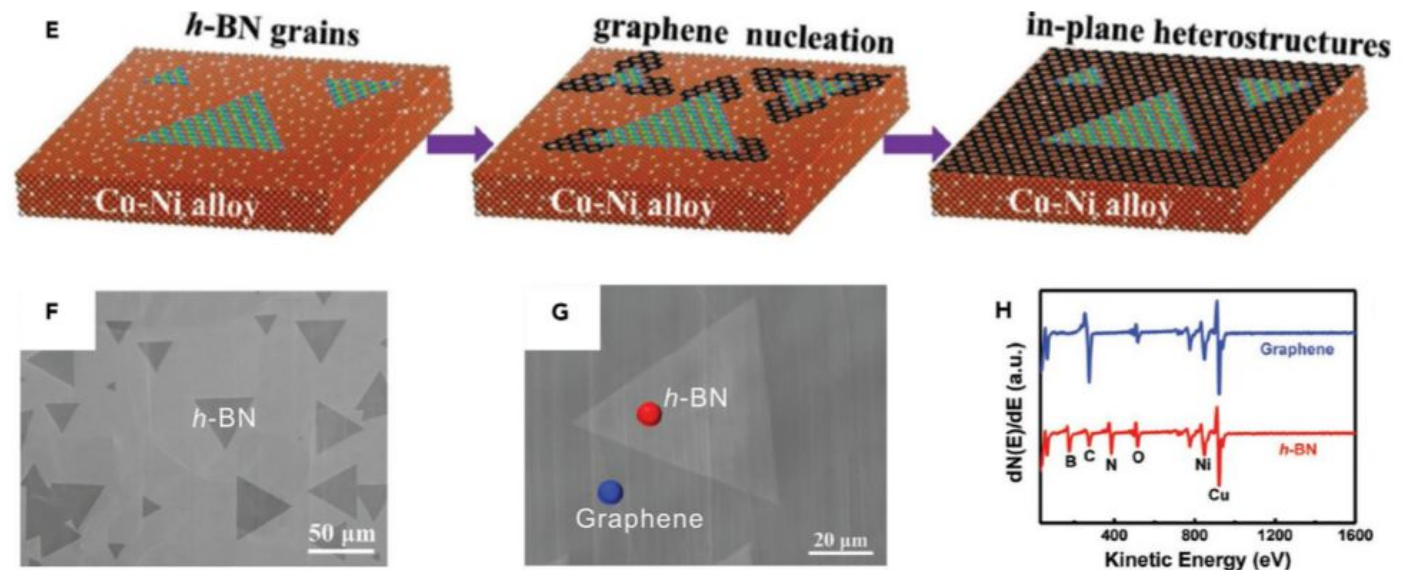
Ενας κρύσταλλος φτιαγμένος από δύο ή περισσότερα στρώματα

- Δημιουργία με διαδοχική εναπόθεση ή μεταφορά στρωμάτων

Διακοπή αναπτυξης

Ενας κρύσταλλος που δεν προλαβε να ολοκληρώσει ένα επίπεδο στο CVD

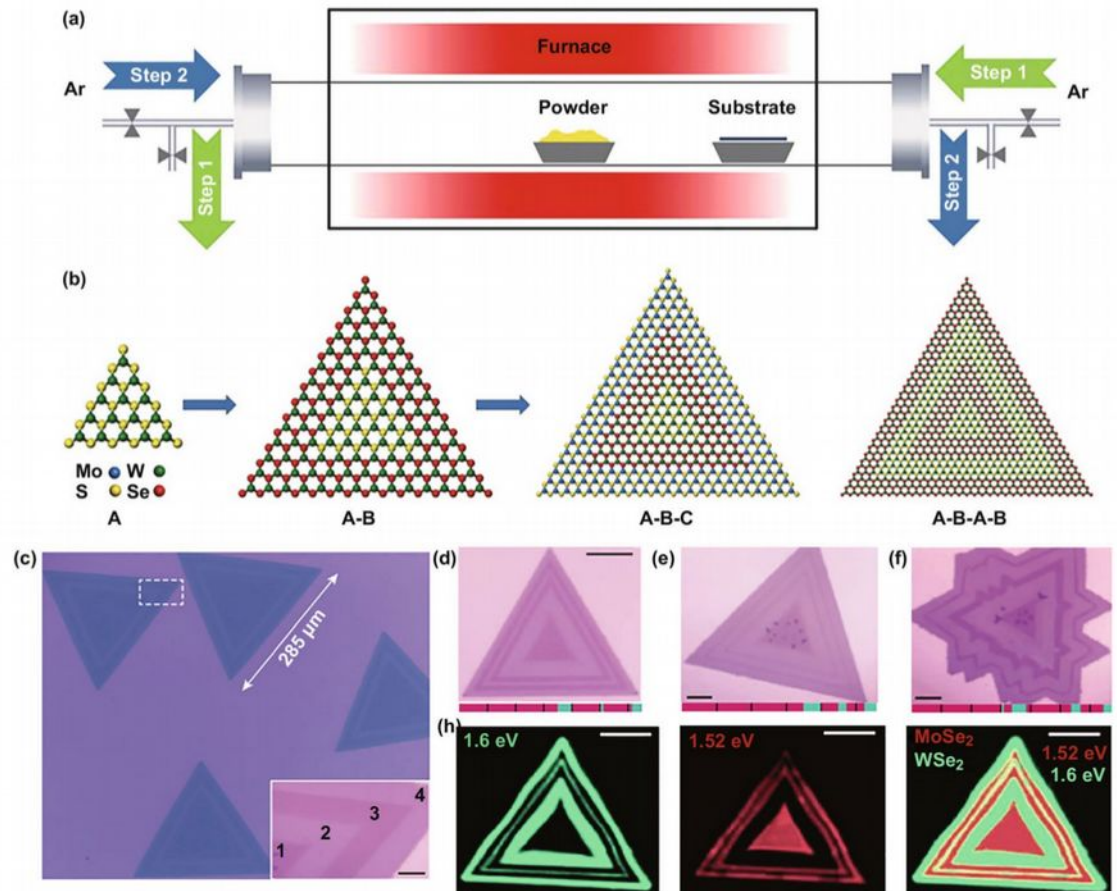
- Αλλάζοντας τα πρόδρομα στοιχεία αλλάζω το είδος
- Κανενας έλεγχος στο ΠΟΥ αναπτύσω το υλικό.



Διακοπή αναπτυξης

Ενας κρύσταλλος που δεν προλαβε να ολοκληρώσει ένα επίπεδο στο CVD

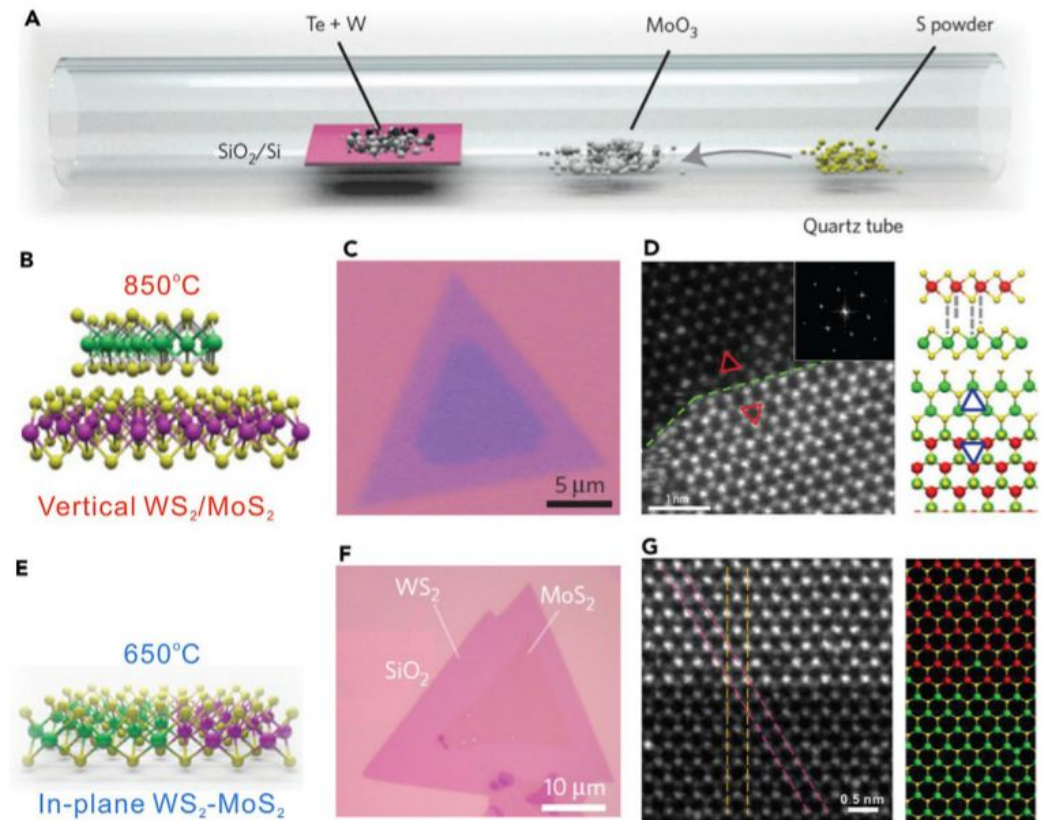
- Αλλάζοντας το θείο με Σελήνιο επανειλημμένα φτιάχνω αυτο το πολύπλοκο σχήμα
- Εφαρμόσιμο σε αναπτυξη μικρότερη από το μέγεθος του κρυσταλλιτη



Διακοπή αναπτυξης

Ενας κρύσταλλος που δεν προλαβε να ολοκληρώσει ένα επίπεδο στο CVD

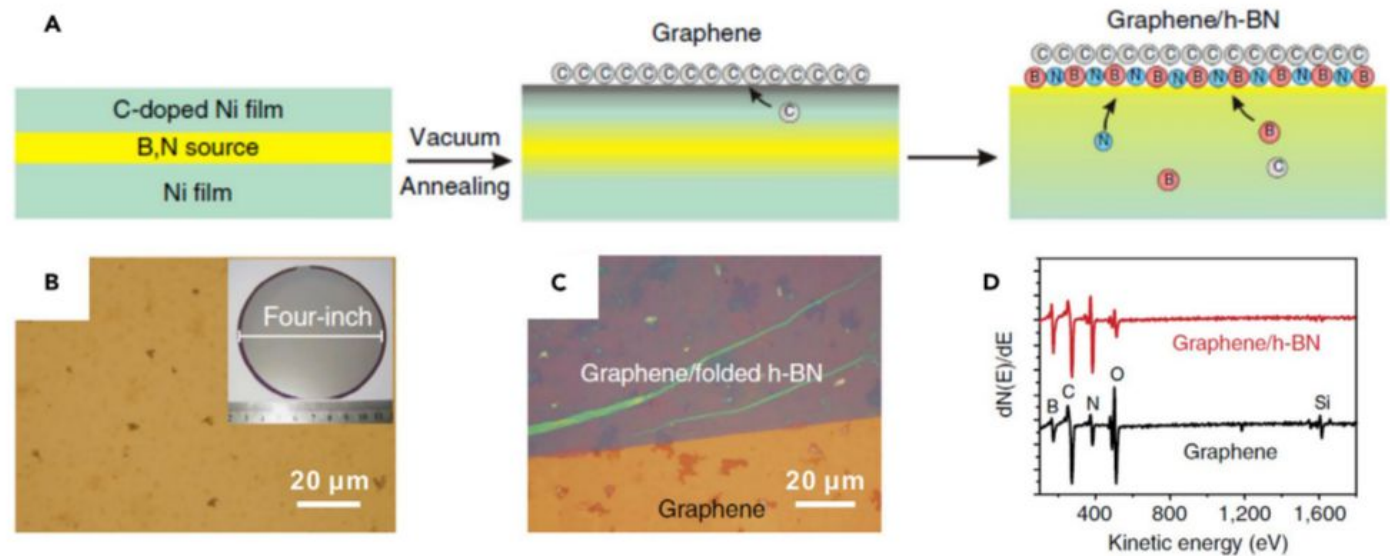
- Αλλάζοντας στοιχεία και θερμοκρασίες επανειλημένα μπορεί να έχω καλύτερο ελεγχο
- Εφαρμόσιμο σε αναπτυξη μικρότερη από το μέγεθος του κρυσταλλιτη



Διαχυση υλικών

Ένα είδος κρύσταλλου που ανέπτυξα πάνω σε σύνθετο υπόστρωμα

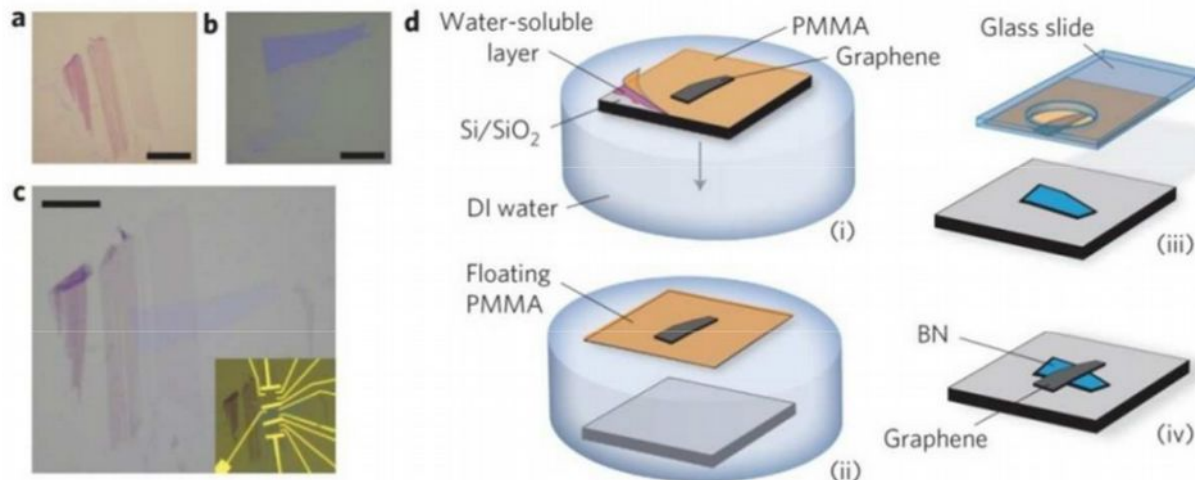
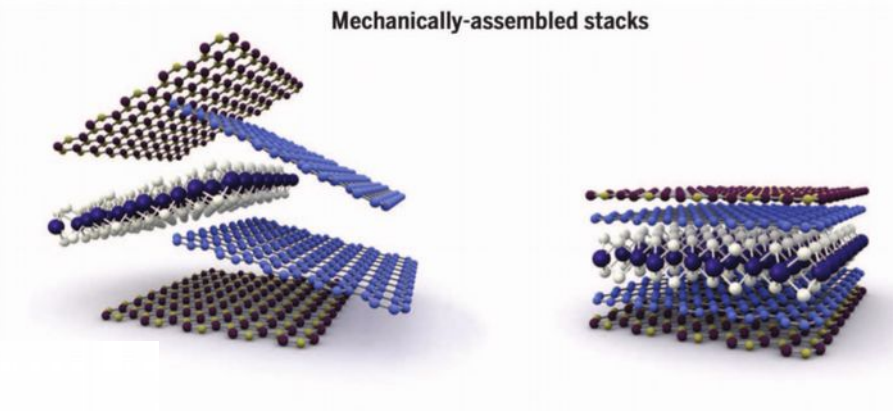
- Αλλάζοντας τη θερμοκρασία ελέγχω την διαχυση του B (Boron) + Αζώτου (Nitrogen) προς την επιφάνεια
- Σταθερότητα του πρώτου υλικού στην θερμοκρασία ανάπτυξης του δευτερου



Exfoliation is king ?? Or not ??

Μπορώ να αποφολιδώσω υλικά και να τα μεταφέρω ενα ενα φτιαχγοντας ότι συνδιασμό θέλω

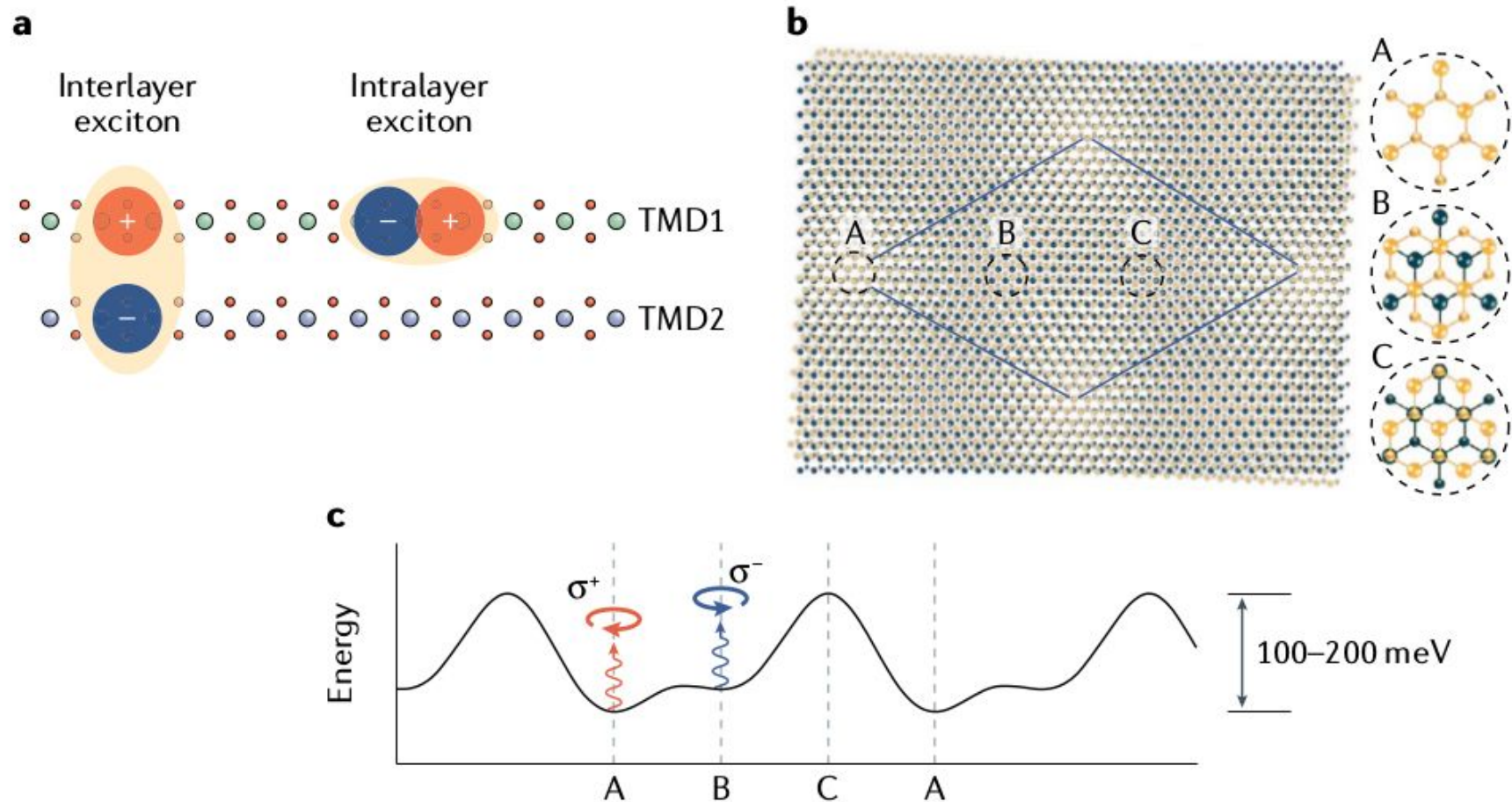
- Σημαντικό να μην έχω βρωμιές που εμποδίζουν την επαφή των στρωμάτων
- Η αποφολίδωση παράγει πολύ μικρά δείγματα, η ευθυγράμμιση πολλών το ενα πάνω στο άλλο είναι δύσκολη



Stacking is critical

Η πληροφορία των υλικών των στρωμάτων δεν είναι αρκετή

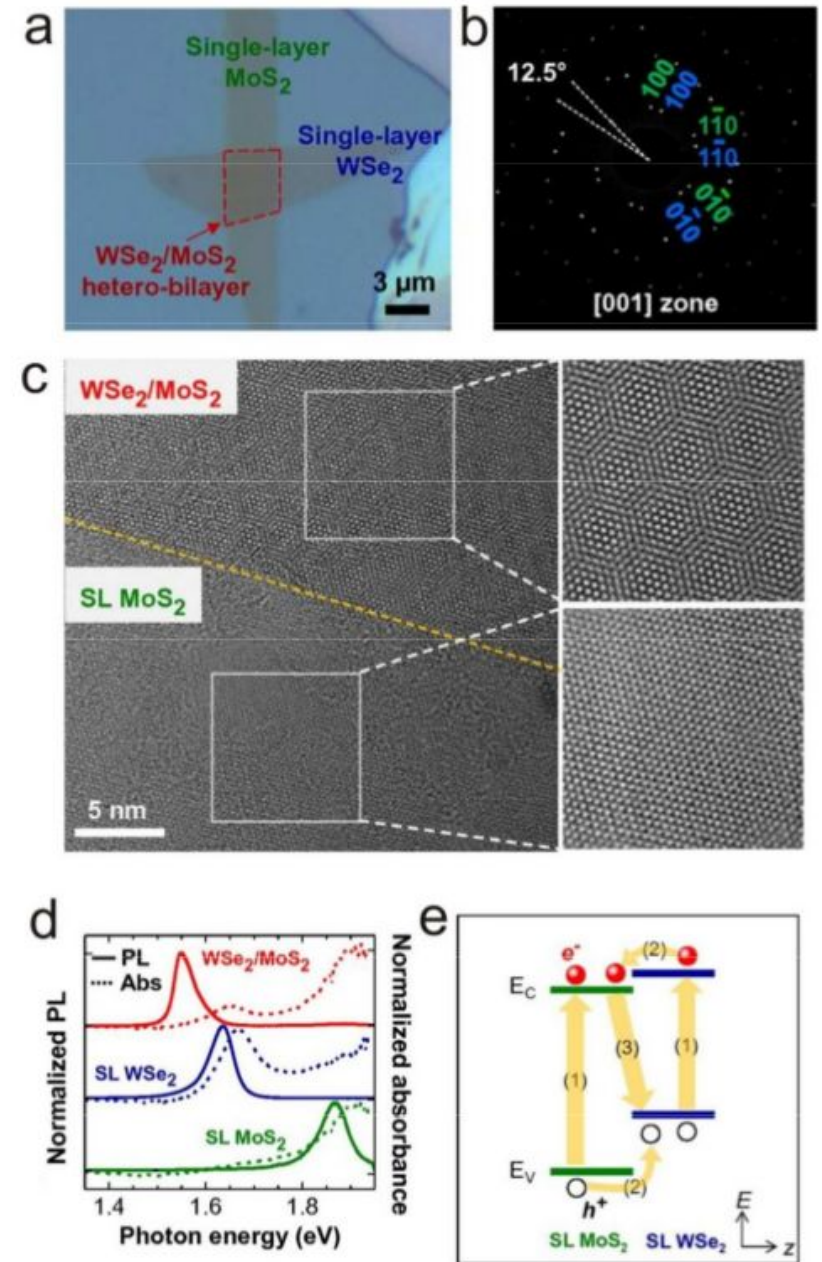
- Αλλάζοντας την ευθυγράμμιση των στρωμάτων παίρνω διαφορετικές ιδιότητες
- Τεχνολογικά αυτό σημαίνει ότι έχω ένα σύστημα που πολύ δύσκολα ελέγχω



Photoluminescence

Η ετεροδομή ΔΕΝ συμπεριφέρεται σαν αθροισμα

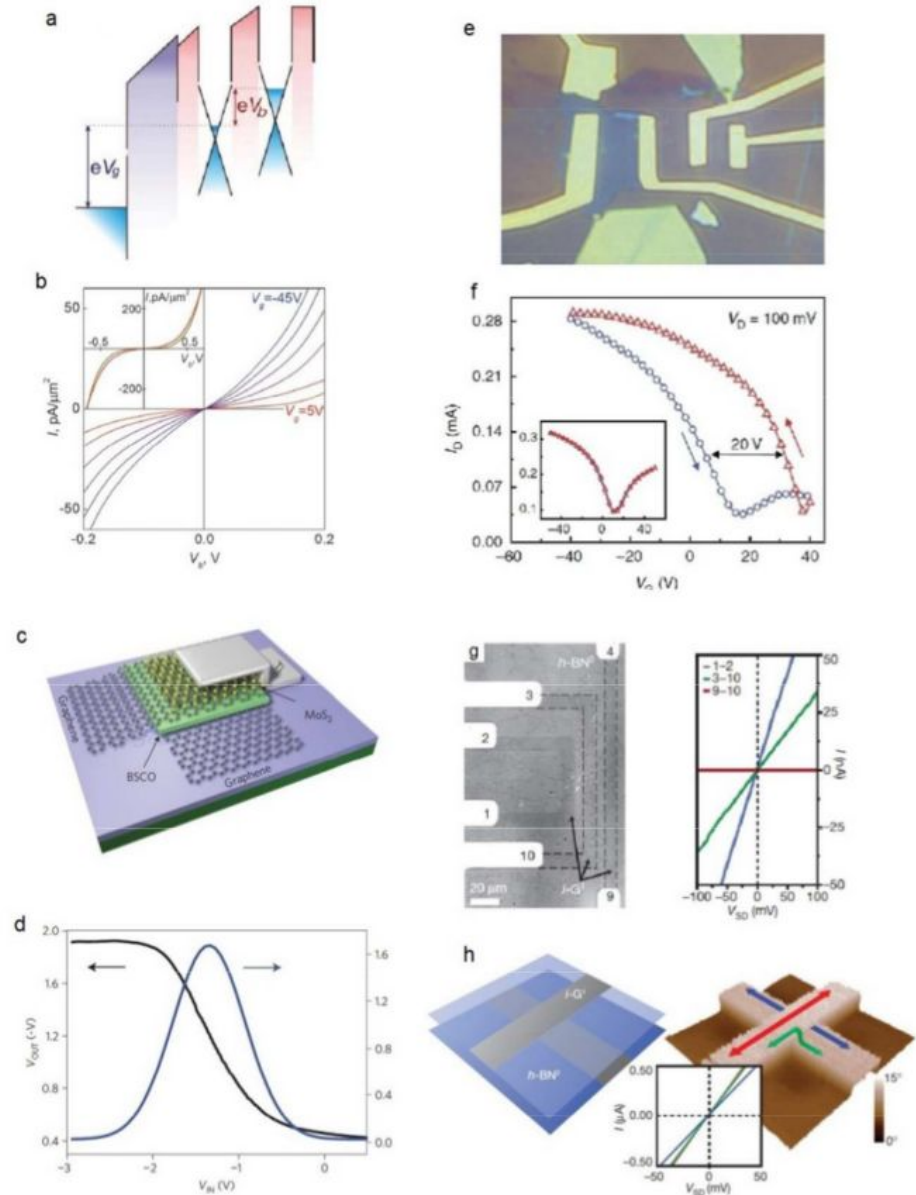
- Πώς θα λύσω το πρόβλημα (προβλεψη?)



Charge transport

Μεταφορά φορτίων αναμεσα στα στρώματα

- Πώς θα λύσω το πρόβλημα (προβλεψη?)





- 1) A. Tartakovskii, "Excitons in 2D heterostructures," *Nat Rev Phys*, vol. 2, no. 1, pp. 8–9, Jan. 2020, doi: 10.1038/s42254-019-0136-1.
- 2) J. Wang, Z. Li, H. Chen, G. Deng, and X. Niu, "Recent Advances in 2D Lateral Heterostructures," *Nano-Micro Lett.*, vol. 11, no. 1, p. 48, Jun. 2019, doi: 10.1007/s40820-019-0276-y.
- 3) D. Rhodes, S. H. Chae, R. Ribeiro-Palau, and J. Hone, "Disorder in van der Waals heterostructures of 2D materials," *Nat. Mater.*, vol. 18, no. 6, pp. 541–549, Jun. 2019, doi: 10.1038/s41563-019-0366-8.
- 4) T. Zhang and L. Fu, "Controllable Chemical Vapor Deposition Growth of Two-Dimensional Heterostructures," *Chem*, vol. 4, no. 4, pp. 671–689, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.chempr.2017.12.006.
- 5) R. Frisenda et al., "Recent progress in the assembly of nanodevices and van der Waals heterostructures by deterministic placement of 2D materials," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 47, no. 1, pp. 53–68, Jan. 2018, doi: 10.1039/C7CS00556C.
- 6) M. Velický and P. S. Toth, "From two-dimensional materials to their heterostructures: An electrochemist's perspective," *Applied Materials Today*, vol. 8, pp. 68–103, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.apmt.2017.05.003.
- 7) K. S. Novoselov, A. Mishchenko, A. Carvalho, and A. H. C. Neto, "2D materials and van der Waals heterostructures," *Science*, vol. 353, no. 6298, Jul. 2016, doi: 10.1126/science.aac9439.
- 8) M.-Y. Li, C.-H. Chen, Y. Shi, and L.-J. Li, "Heterostructures based on two-dimensional layered materials and their potential applications," *Materials Today*, vol. 19, no. 6, pp. 322–335, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.mattod.2015.11.003.
- 9) Y. Cao et al., "Quality Heterostructures from Two-Dimensional Crystals Unstable in Air by Their Assembly in Inert Atmosphere," *Nano Lett.*, vol. 15, no. 8, pp. 4914–4921, Aug. 2015, doi: 10.1021/acs.nanolett.5b00648.
- 10) H. Wang, F. Liu, W. Fu, Z. Fang, W. Zhou, and Z. Liu, "Two-dimensional heterostructures: fabrication, characterization, and application," *Nanoscale*, vol. 6, no. 21, pp. 12250–12272, Oct. 2014, doi: 10.1039/C4NR03435J.