

F4280 Technologie depozice tenkých vrstev a povrchových úprav 6. Epitaxy

Lenka Zajíčková

Přírodovědecká fakulta & CEITEC, Masarykova univerzita, Brno
lenkaz@physics.muni.cz

jarní semestr 2016



CEITEC

Central European Institute of Technology
BRNO | CZECH REPUBLIC



Outline - chapter 6. Epitaxy

- 6.1 Introduction to Epitaxy
- 6.2 Molecular Beam Epitaxy
- 6.3 Monitoring of Deposition Process
- 6.4 CVD Epitaxy
- 6.5 Liquid Phase Epitaxy
- 6.6 Atomic Layer Epitaxy

Other slide shows:

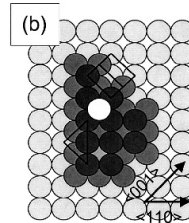
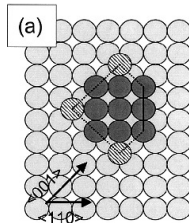
<https://www.slideshare.net/mehmedkoc/ee518-epitaxial-deps07-5695497>
- for process description and vapor phase epitaxy (VPE, also CVD epitaxy)

https://www.slideshare.net/HrishikeshGhewade/epitaxial-crystal-growth-method?next_slideshow=1
- for liquid phase epitaxy (LPE) and MBE

6.1 Introduction to Epitaxy

The word epitaxy is derived from the Greek “epi” - upon and “taxis” - to arrange. Thus, epitaxial deposition requires the ability to add and arrange atoms upon a single crystal surface. Epitaxy is a regularly oriented growth of one crystalline substance upon another. Specific applications require controlling the crystalline perfection and the dopant concentration in the added layer. Two different kinds of epitaxy are recognized:

- ▶ Homo-epitaxy is growth in which the epitaxial layer is of the same material as the substrate (e. g. Si on Si, GaAs on GaAs).
- ▶ Hetero-epitaxy is growth in which the layer is a different material than the substrate (e. g. AlAs on GaAs).



Motivation

Epitaxial growth is useful for applications that places stringent demands on the deposited layer:

- ▶ high purity
- ▶ low defect density
- ▶ abrupt interfaces
- ▶ controlled doping profiles
- ▶ high reproducibility and uniformity

Why homoepitaxy (e. g. Si on Si, GaAs on GaAs)?

Epitaxial films are purer than the substrate and can doped independently.

General Epitaxial Deposition Requirements

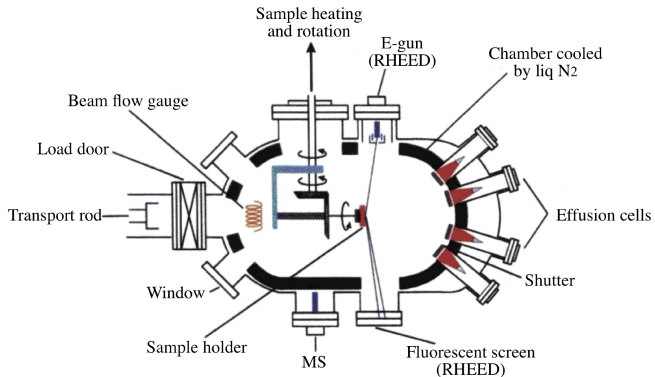
see <https://www.slideshare.net/mehmedkoc/ee518-epitaxial-deps07-5695497>

6.2 Molecular Beam Epitaxy

Epitaxe z molekulárních svazků (MBE z anglického molecular beam epitaxy) je sofistikovaná, přesně kontrolovaná metoda pro růst monokrystalické epitaxní vrstvy:

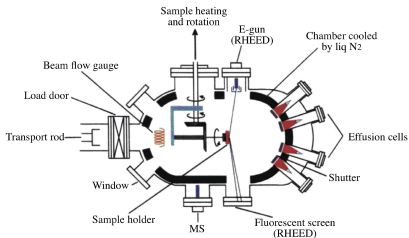
- ▶ ve velmi vysokém vakuu (10^{-9} Pa),
- ▶ na monokrystalickém substrátu pomalým napařováním jednotlivých atomů či molekul,
- ▶ substrát a rostoucí vrstva udržovány na přesně dané teplotě.

Aparatura pro MBE:



6.2 Molecular Beam Epitaxy

- ▶ **Vakuový systém** je velice podobný uspořádání, které je používáno pro analýzu povrchů a kompatibilní s technikou vysokého vakua. Typický systém pro MBE je složen ze čtyř oddělených komor: vstupní komora pro vkládání a vyjímání substrátů, depoziční komora, komora pro analýzu a pomocná komora pro přípravné procesy.
- ▶ **Zdroje materiálu** jsou základem každého MBE systému. Musí být schopné poskytovat dostatečnou čistotu a rovnoměrnost napařovaného materiálu.
- ▶ **Clona** Jedním ze základních prvků, nutných pro správnou funkci MBE, je clona umístěná na zdroji. Spolu s pomalou rychlostí růstu vrstvy umožňuje kontrolu nad procesem růstu. Požadavkem je schopnost zavřít se během 0,1 s.
- ▶ **Manipulace se vzorky.** Vzorky pro MBE jsou uchyceny v molybdenovém držáku pomocí indiového tmelu. Za teploty obvyklé pro MBE je indium tekuté a zajišťuje dobrou přilnavost a převod tepla. Teplota substrátu bývá kontrolována buď termočlánkem, nebo pyrometrem. Obvyklé bývá velké substráty (> 5 cm) nechat během deposice rotovat.



Typy zdrojů pro MBE

- ▶ **Knudsenovy cely** jsou standardním zdrojem pro napařování. Vypadají jako hluboké tyglíky uvnitř pece. Pec je vybavena chlazením stěn a termočlánkem. Jsou většinou vyrobeny z odolného kovu jako je Ta, Mo nebo keramiky.
- ▶ **Solid Source Cracking Cells.** Některé materiály jako arsen a fosfor se odpařují ve více molekulárních formách. Obvykle platí, že větší molekuly mají vyšší tenzi par a nižší koeficient ulpění při dané teplotě substrátu než menší molekuly \Rightarrow výtěžnost lze zvýšit rozbitím větších molekul již ve zdroji. Konstrukce zdroje materiálu v tomto případě odpovídá obvyklé Knudsenově cele s tím rozdílem, že je přidán další ohřev na výstupu z cely, který slouží k rozkladu molekul.
- ▶ **Kontinuální zdroj** je typ zdroje pro tekuté materiály (např. rtuť).
- ▶ **Zdroj s elektronovým ohřevem** je používán pro těžko tavitelné materiály (W, Co, Ni, Si, Ge).
- ▶ **Implantační zdroj** Plyn ze zdroje je ionizován, v některých případech jsou ionty separovány podle hmotnosti. Následně jsou ionty urychleny směrem k substrátu.

For more details see scanned copy of Handbook of Thin Film Deposition.

<https://www.youtube.com/watch?v=NsGRKSV8yH8&nohtml5=False> Simulation of growth

6.3 Monitoring of Deposition Process

- ▶ control of epitaxy - reflectance high-energy electron diffraction RHEED

Electrons of energy 5 - 40 keV are directed towards the sample. They reflect from the surface at a very small angle (less than 3°) and are directed onto a screen. These electrons interact with only the top few atomic layers and thus provide information about the surface.

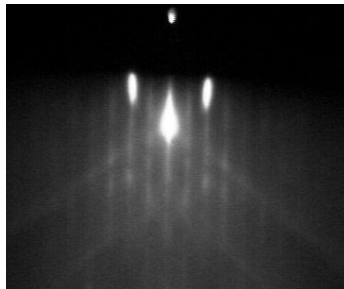
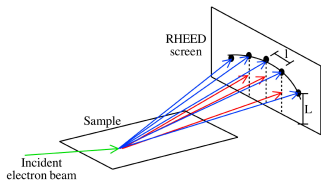


Figure shows a typical pattern on the screen for electrons reflected from a smooth surface, in which constructive interference between some of the electrons reflected from the lattice structure results in lines. If the surface is rough, spots will appear on the screen, also.

For more details see scanned copy of Smith's book.

6.4 CVD Epitaxy

Epitaxial layers can be prepared by a wide range of techniques including evaporation, sputtering and molecular beams. Epitaxial deposition by CVD uses a gaseous transport and chemical reactions. Important application of CVD epitaxy is a production of crystalline silicon (c-Si). With the **silicon epitaxy** radical changes in material properties can be created over small distances within the same crystal. This capability permits the growth of lightly-doped single c-Si on the top of heavily-doped c-Si, n-type Si over p-type Si and vice versa, Si layer with controlled dopant profiles etc.

see Handbook of Thin Film Deposition, ed. S. Krishna, chapter 2.

6.5 Liquid Phase Epitaxy

see https://www.slideshare.net/HrishikeshGhewade/epitaxial-crystal-growth-method?next_slideshow=1

6.6 Atomic Layer Epitaxy

se Smith's book p. 269