

3.1. Introduction to Plasma Processing

Plasma ...

- is **quasineutral system of charged particles** (electrons - n_e , ions - n_i) that can contain neutrals (n_g)

ionization degree:

$$x_{iz} = n_i / (n_i + n_g)$$

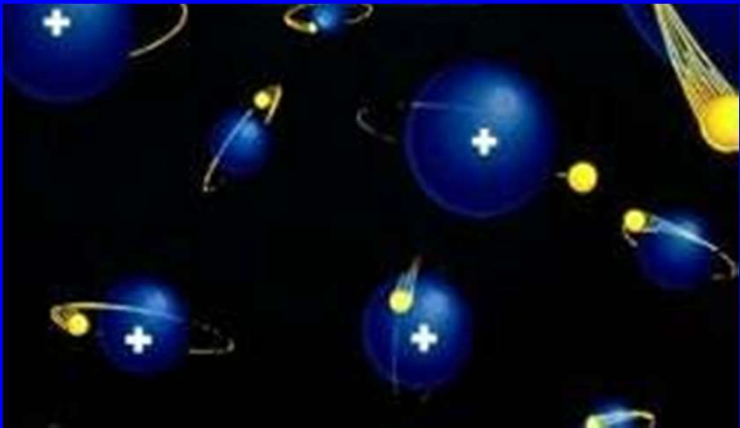
fully ionized plasma

$$x_{iz} \approx 1$$

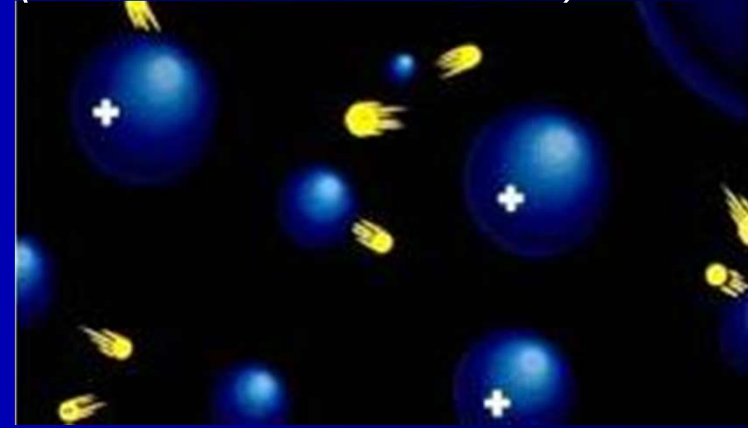
weakly ionized plasma

$$x_{iz} \ll 1$$

Neutral gas



*Ionized gas – plasma
(under some conditions)*



- ✓ Dodáním dostatečné energie molekulárnímu plynu dochází k jeho disociaci na atomy v důsledku srážek těch částic, jejichž tepelná energie překračuje vazebnou energii molekuly.
- ✓ Ještě větší dodaná tepelná energie způsobí překonání vazebných sil elektronů k jádru \Rightarrow **ionizace**, tj. vznik volných elektronů a iontů \Rightarrow **plazma**

Two Methods for Generation of Plasma

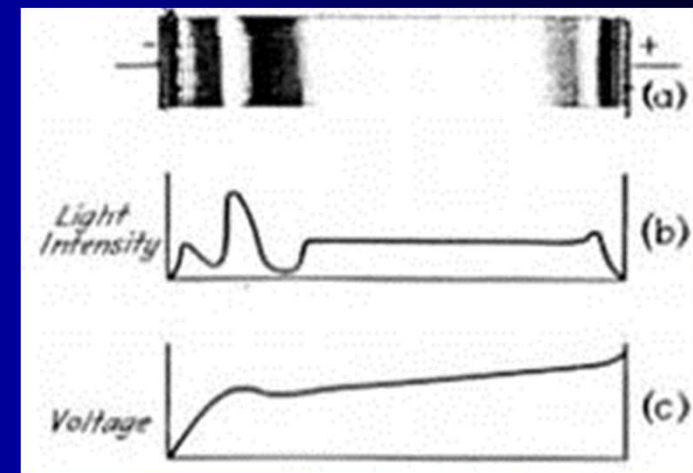
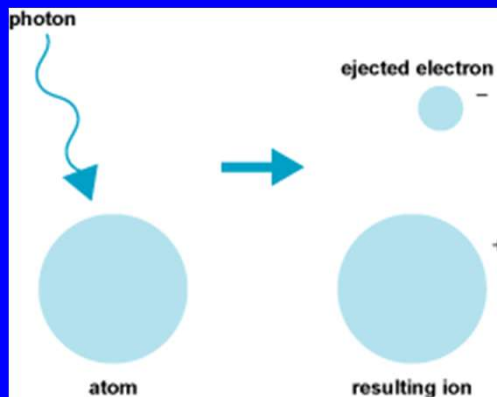
✓ **Dostatečným zvýšením teploty:** Pak jde o systém v termodynamické rovnováze. Elektronová teplota a stupeň ionizace jsou svázány Sahaovou rovnicí. V laboratoři neobvyklé, ale v přírodě časté (astrofyzikální plazma).

✓ **Pomocí ionizačních procesů** zvyšujících mnohonásobně stupeň ionizace nad jeho rovnovážnou hodnotu (po vypnutí zdroje ionizace dojde k dohasínání plazmatu díky rekombinaci):

- **fotoionizace** – ionizační potenciál např. atomu kyslíku je 13,6 eV
⇒ foton o vlnové délce 91 nm (daleká UV oblast).

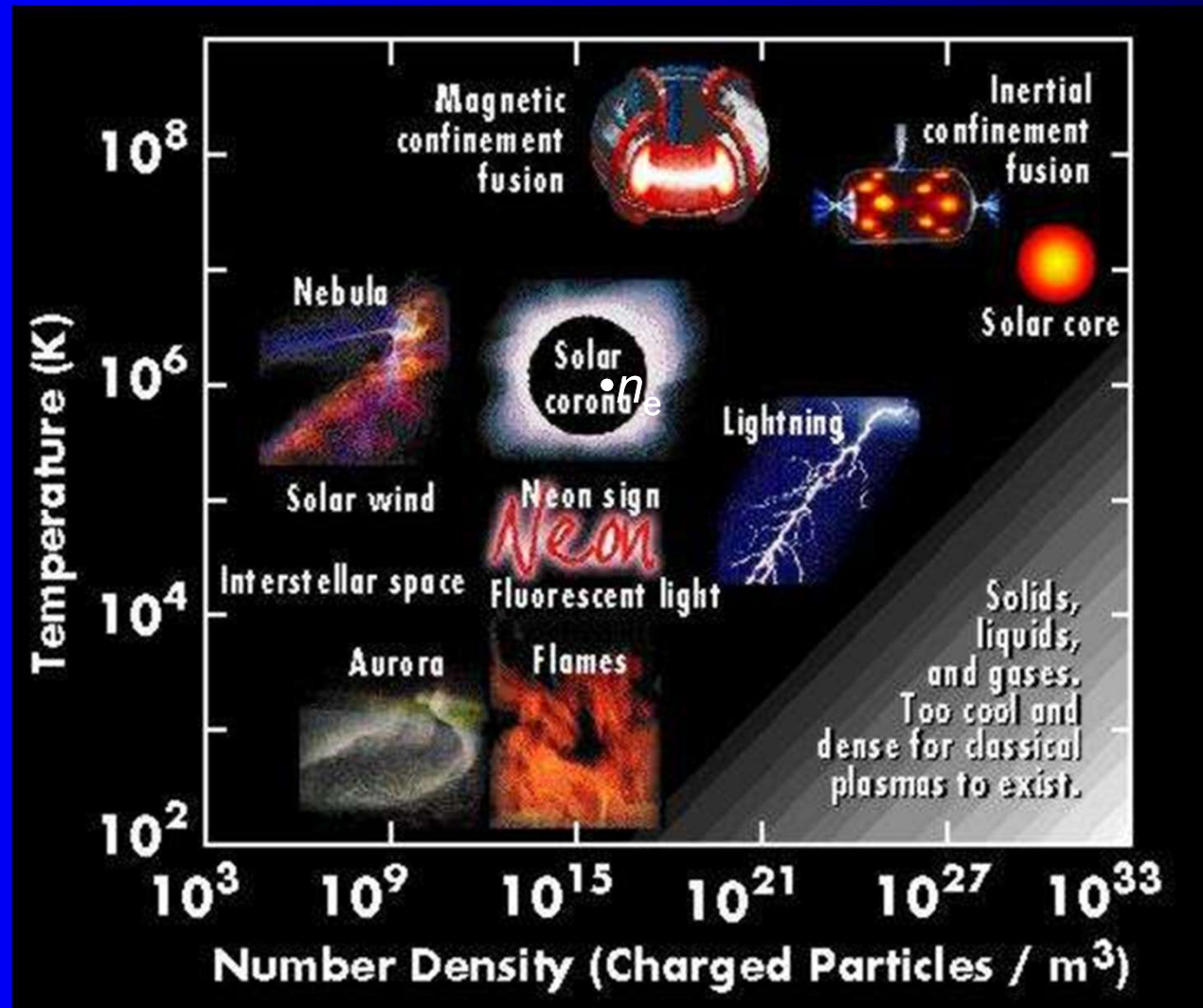
Ionosféra Země - přírodní fotoionizované plazma.

- **elektrický výboj v plynu** – el. pole urychluje volné elektrony na energie dostatečné k ionizaci atomů, laboratorní plazma.



Important plasma parameters are

- electron temperature T_e
- electron density n_e



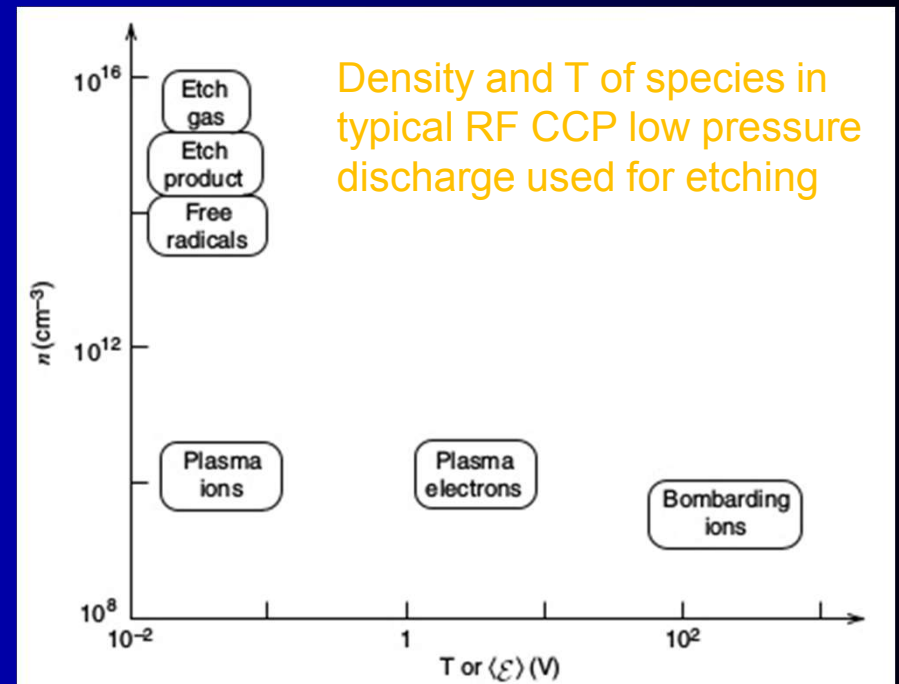
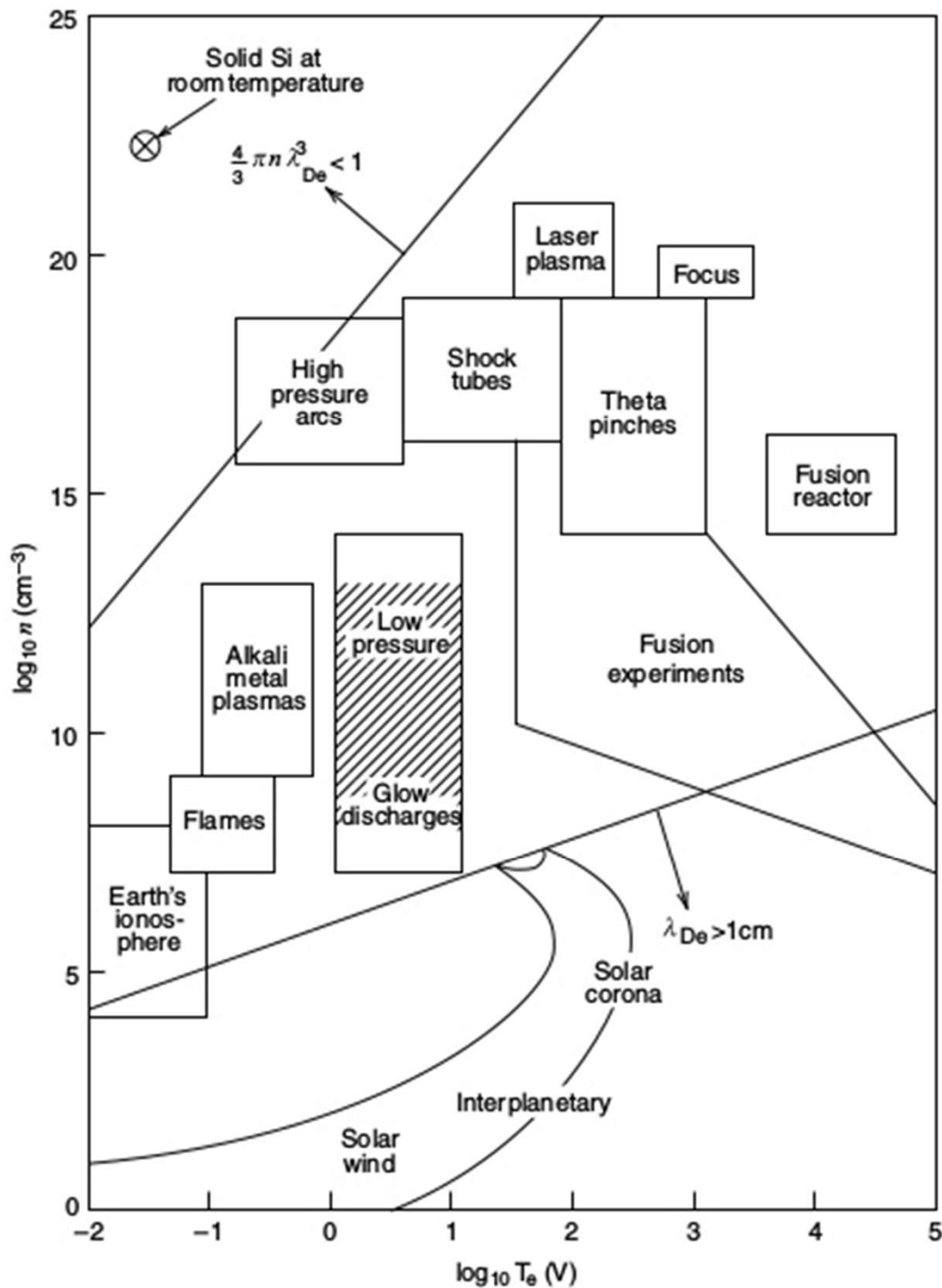
natural and artificially created plasmas

T_e is given rather in [eV]

1 eV = 11 600 K

Natural length scale in plasma is Debye length

$$\lambda_d = \left(\frac{\epsilon_0 k_b T_e}{n_e e^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$



Density and T of species in typical RF CCP low pressure discharge used for etching

Quasineutrality, plasma sheath

Quasineutrality $n_e \approx n_i$ has to be fulfilled on the scale $L \gg \lambda_D$.

Quasineutrality is violated in regions adjacent to walls and other solid objects in contact with plasma – **plasma sheath**.

These regions are very important for plasma processing. **Plasma potential** is always the most positive potential \rightarrow **electrons are repelled by a Coulomb barrier, ions accelerated towards solid surfaces.**

Interactions (collisions) in plasma

- Plasma contains many interacting charged particles. Condition:

$$n_e \lambda_D^3 \gg 1$$

- Plasma exhibits collective behavior of electrons that is not much disturbed by electron-neutral collisions

Dynamics of charged plasma particles is given by

- externally applied fields and
- internal fields resulting from existence and motion of charged plasma particles

We can distinguish interaction of:

- two charged particles
- charged and neutral particles.

According to importance of these two interactions plasma is divided into weak or high ionized.

There are various elastic or inelastic collisions (interactions) in plasma. Few examples:

Excitace	$A_2 + e^- \rightarrow A_2^* + e^-$
Disociace	$A_2 + e^- \rightarrow 2A + e^-$
Záchyt elektronu	$A_2 + e^- + M \rightarrow A_2^- + M$
Disociativní záchyt	$A_2 + e^- \rightarrow A^- + A$
Ionizace	$A_2 + e^- \rightarrow A_2^+ + 2e^-$
Fotoemise	$A_2^* \rightarrow A_2 + h\nu$
Abstrakce	$A + B_2 \rightarrow AB + B$