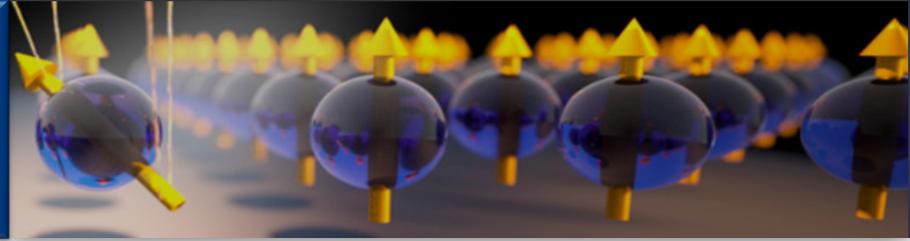


# Espintrónica en semiconductores



## Espintrónica en semiconductores



### □ Ventajas:

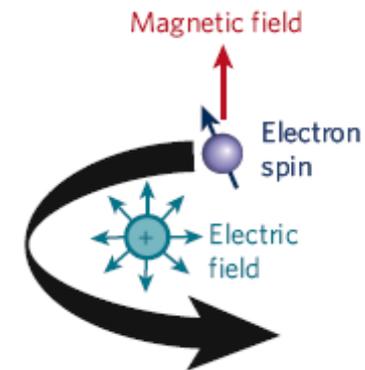
- ◆ Aprovechar la experiencia en tecnología de semiconductores.
- ◆ Estudiar la dinámica del espín en materiales no magnéticos.
- ◆ Generación eléctrica o no magnética de una polarización de espín.



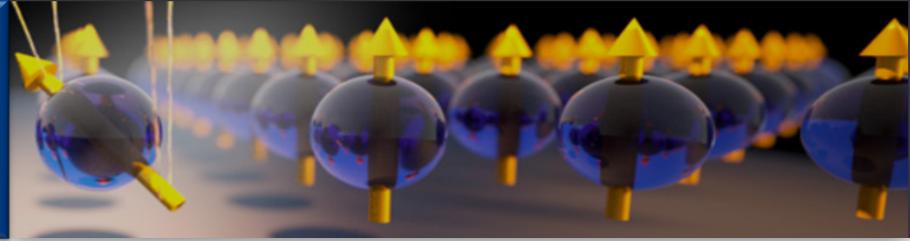
Generación eléctrica de una polarización de espines en semiconductores

¿Cómo lograrlo?

## Interacción espín-órbita

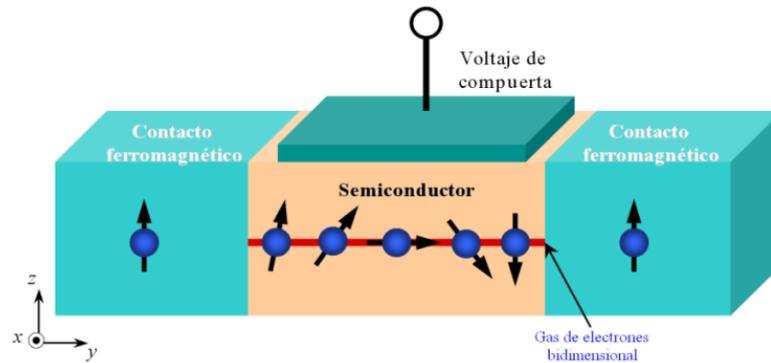


# Fenómenos espintrónicos

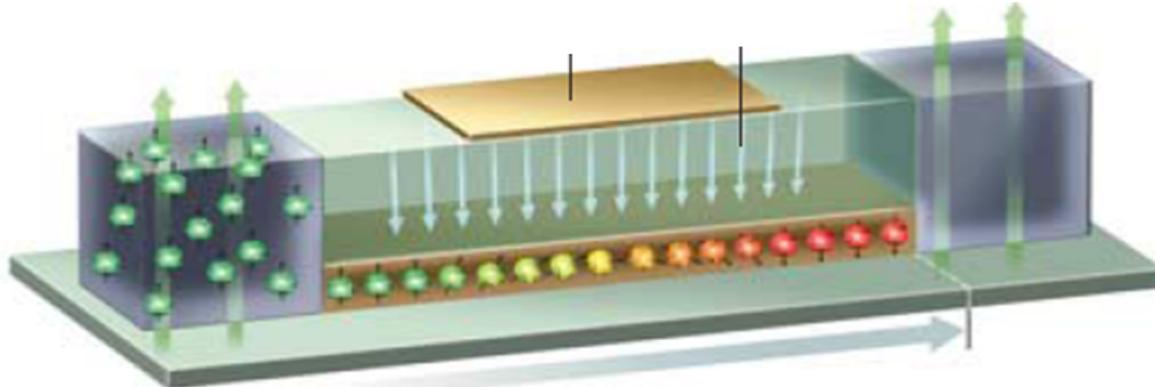


## Transistor de espín de efecto de campo

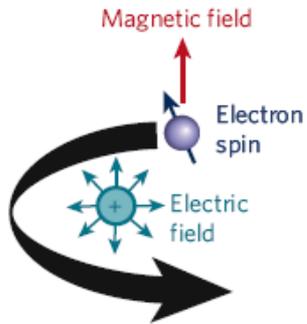
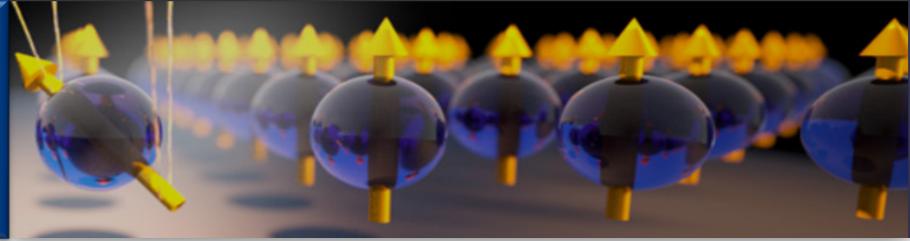
- 1990: Datta y Das propusieron el transistor de espín efecto de campo



S. Datta y B. Das, Appl. Phys. Lett. **56**, 665 (1990).



# Interacción espín-órbita en semiconductores



$$H_{so} = \frac{\hbar^2}{4m_0^2c^2} \boldsymbol{\sigma} \cdot (\nabla V \times \mathbf{k})$$

## □ Diferencias

- ◆ Los electrones se mueven en presencia de campos eléctricos producidos por los átomos de la red cristalina.
- ◆ El movimiento de los electrones está descrito por bandas de energía.
- ◆ Masa efectiva del electrón  $m^*$ .

## □ Similitudes

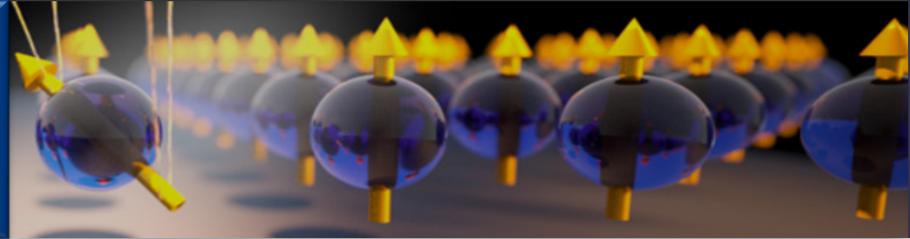
Para un electrón en un cristal hay distintas fuentes de gradiente de potencial: impurezas, confinamiento cuántico, fronteras o campos externos.

Diferencia significativa

$$E_g \sim 1 \text{ eV}$$

$$2m_0c^2 \sim 1 \text{ MeV}$$

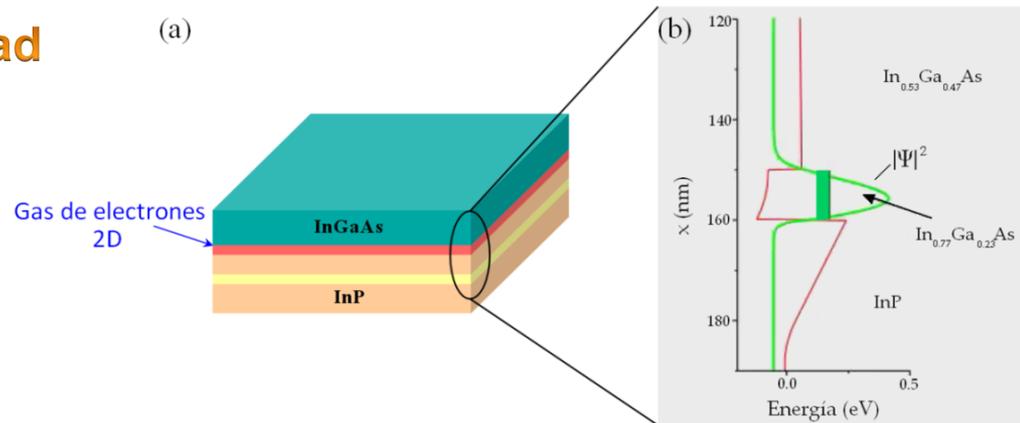
# Heteroestructuras semiconductoras



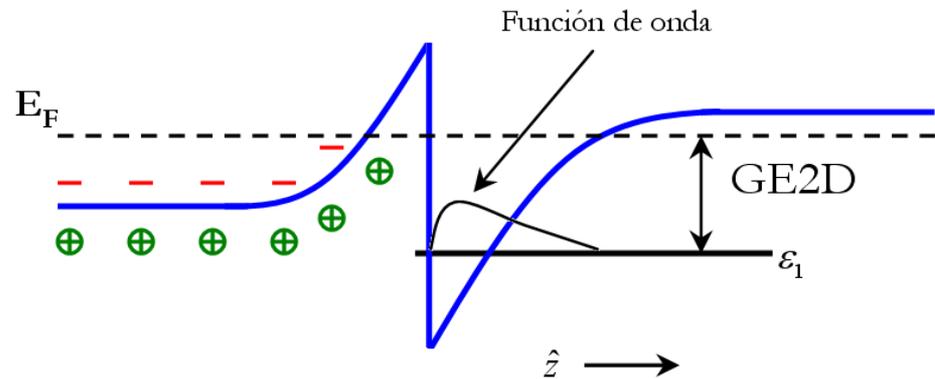
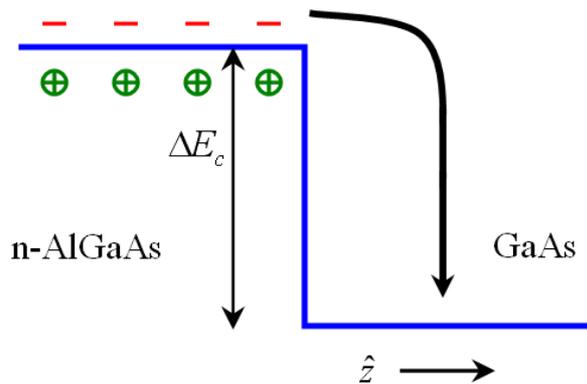
## □ Sistemas de baja dimensionalidad

Heteroestructuras semiconductoras.

- ◆ III-V como GaAs, InGaAs y AlGaAs.
- ◆ II-VI como ZnSe.
- ◆ Estructura cristalina tipo zincblenda.



## □ Gas de electrones bidimensional



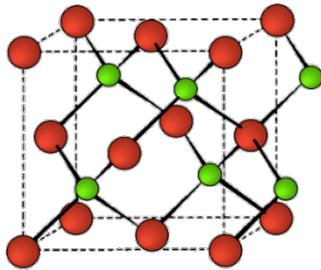
# Interacción espín-órbita en semiconductores



## □ Origen de la asimetría de inversión:

1) Asimetría de inversión en el bulto

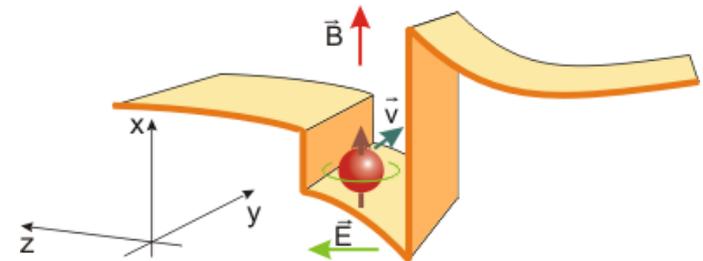
Estructura zincblenda  **IEO Dresselhaus**



G. Dresselhaus, *Phys. Rev.* **100**, 580 (1955).

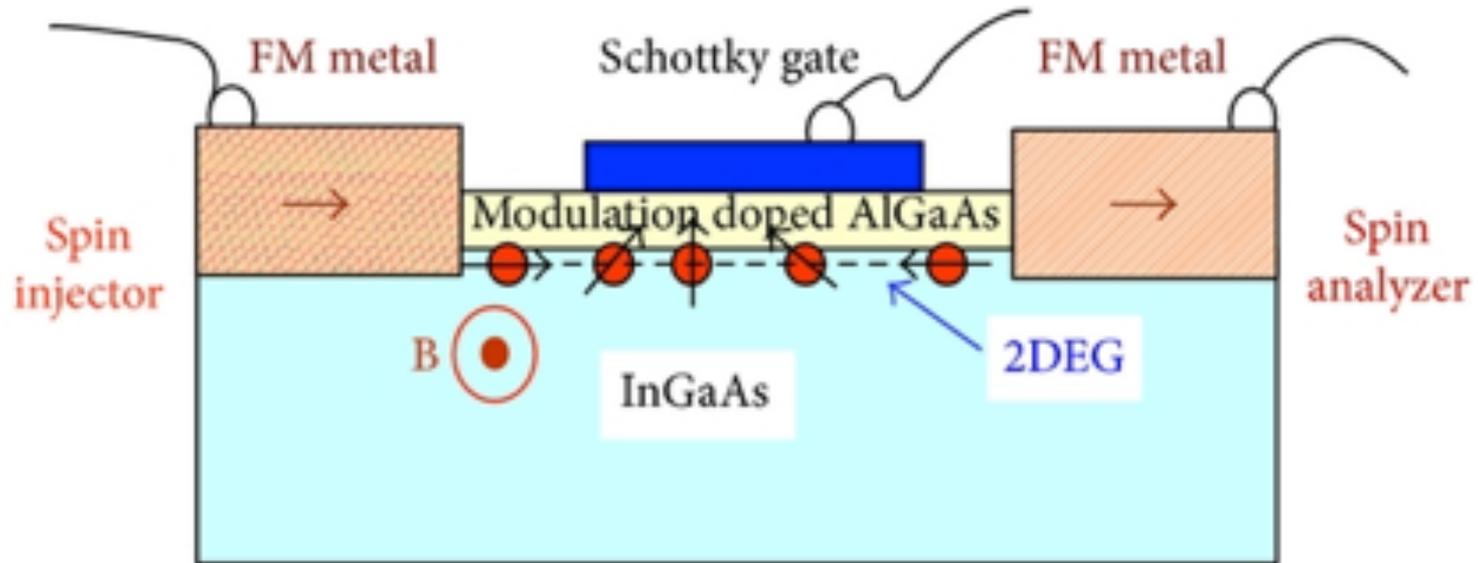
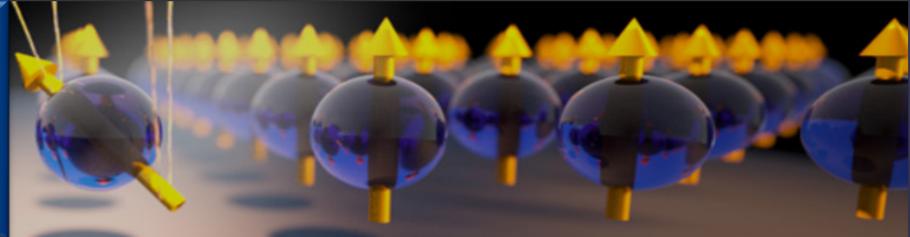
2) Asimetría de inversión estructural

**IEO Rashba**

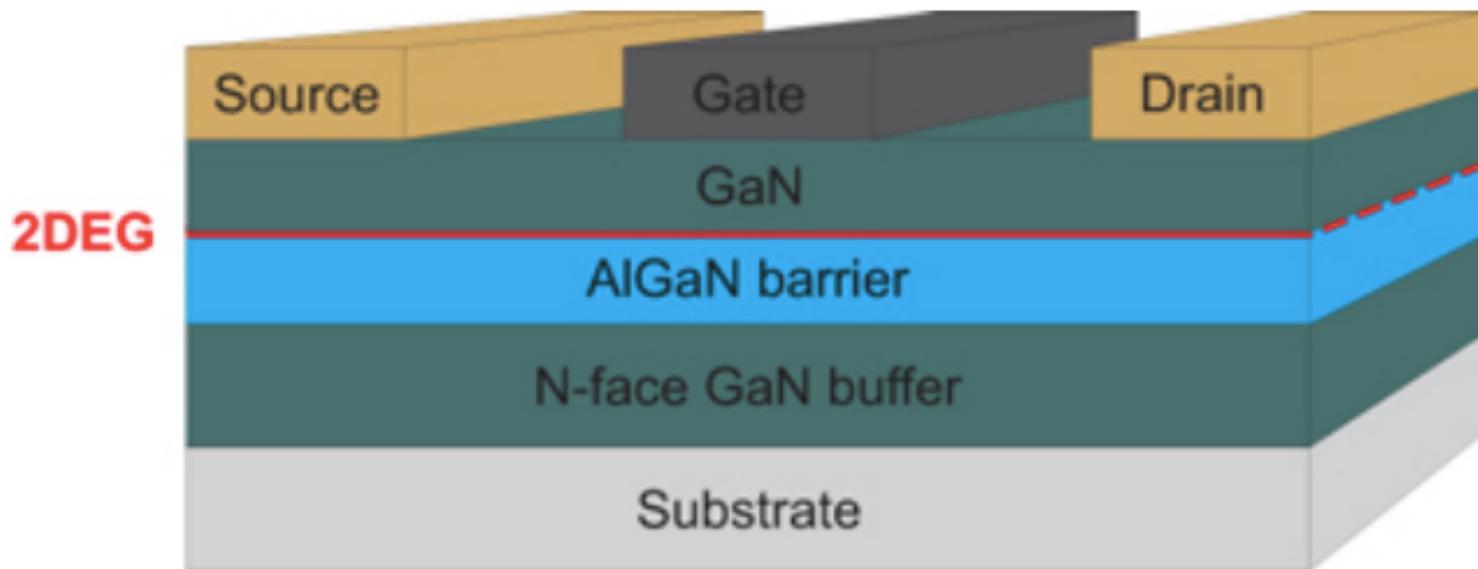
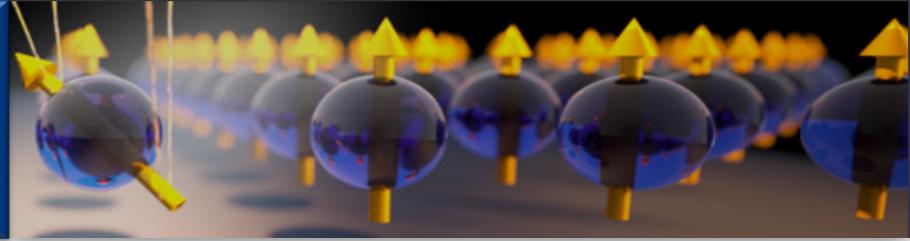


Y. A. Bychkov y E. I. Rashba, *J. Phys. C* **17**, 6039 (1984).

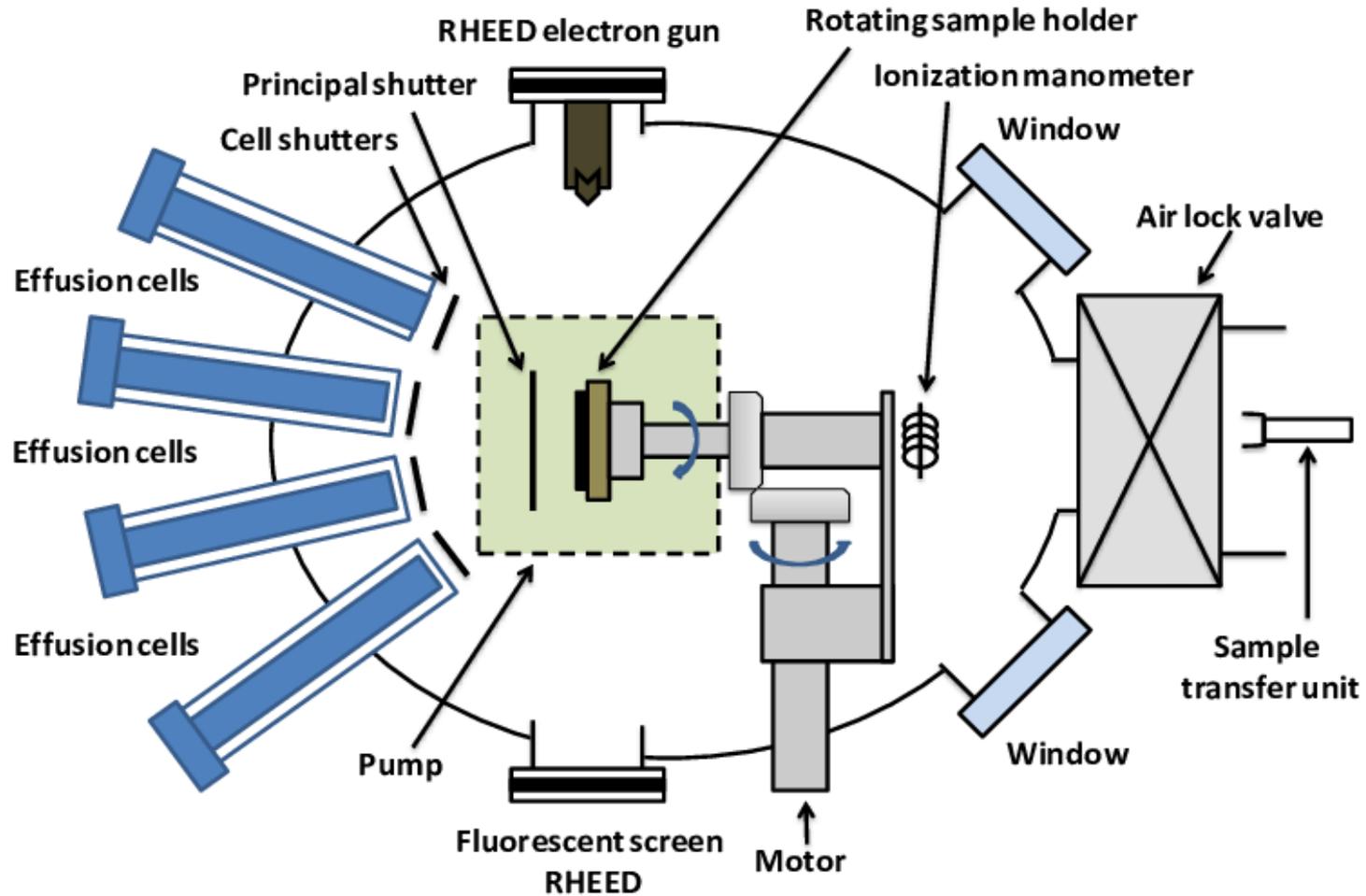
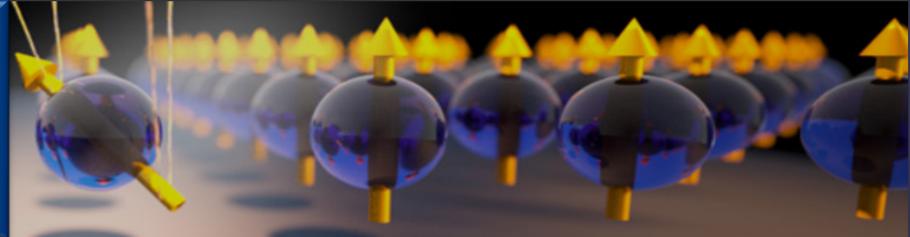
# Interacción espín-órbita en semiconductores



# Interacción espín-órbita en semiconductores



# Interacción espín-órbita en semiconductores



# INTERACCIÓN RASHBA.

Si se considera el acoplamiento espín-órbita de Rashba, el Hamiltoniano de un electrón en un 2DEG es:

$$\hat{H} = \frac{\hbar^2 k^2}{2m^*} + \hat{H}_R, \quad \begin{aligned} \vec{p} &= \hbar \vec{k} \\ \vec{k} &= (k_x, k_y) \end{aligned}$$

El acoplamiento espín-órbita de Rashba actúa sobre el espín de los electrones como un campo magnético efectivo  $\vec{\Omega}(\vec{k})$  que depende del vector de onda  $\vec{k}$  y alrededor del cual el espín del electrón precesa.

Usualmente este campo efectivo recibe el nombre de CAMPO ESPÍN-ÓRBITA.

$$\hat{H}_R = \frac{\hbar}{2} \vec{\Omega}(\vec{k}) \cdot \vec{\sigma}$$
$$\hat{H} = \begin{pmatrix} \frac{\hbar^2 k^2}{2m^*} + \frac{\hbar}{2} \Omega_z & \frac{\hbar}{2} (\Omega_x - i\Omega_y) \\ \frac{\hbar}{2} (\Omega_x + i\Omega_y) & \frac{\hbar^2 k^2}{2m^*} - \frac{\hbar}{2} \Omega_z \end{pmatrix}$$

Calculando:

$$\text{Det} \left| \hat{H} - E \mathbb{1} \right| = 0$$

$$\therefore E = \frac{\hbar^2 \kappa^2}{2m^*} \pm \frac{\hbar}{2} \sqrt{(\Omega_x^2 + \Omega_y^2 + \Omega_z^2)}$$

$$E_{\pm} = \frac{\hbar^2 \kappa^2}{2m^*} \pm \frac{\hbar}{2} |\bar{\Omega}|$$

$$\text{donde } \kappa = |\vec{\kappa}| = \sqrt{\kappa_x^2 + \kappa_y^2}$$

El campo espín-órbita rompe la degeneración de los estados de espín para vectores de onda finitos ( $\vec{\kappa} \neq 0$ ).

$$E_+(\vec{\kappa}) - E_-(\vec{\kappa}) = \hbar |\bar{\Omega}(\vec{\kappa})|$$

