

YARIİLETKEN/METAL EKLEMLER

Bir metal ve yarıiletken eklem oluşturulduğunda, yarı iletkenin ve metal iş fonksiyonları ile ilişkisine bağlı olarak oluşturulan iki tip eklem (kavşak;kontakt) vardır.



*Doğrultucu Kontakt
(Schottky Diyod)*



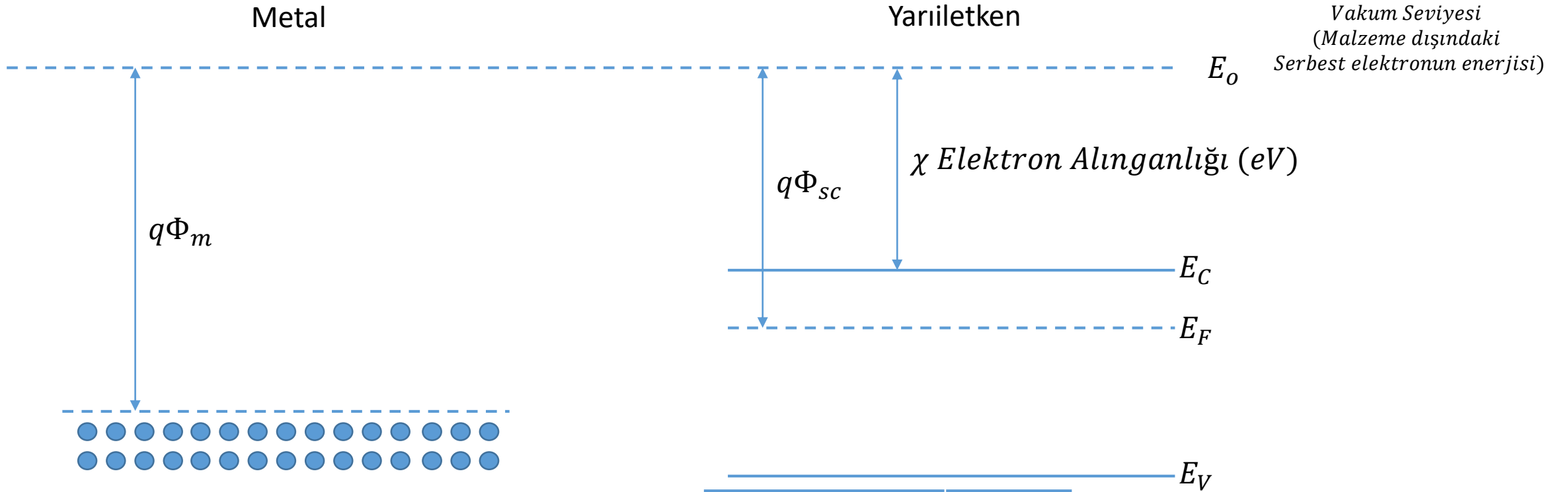
*Doğrultucu olmayan Kontakt
Omik Kontakt*

Bu durum n ve p tipi yarı iletkenler için ayrı ayrı incelenmelidir.

N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)



χ , yarı iletkenin elektron alınganlığıdır
(iletim bandından elektronu vakuma
çıkartmak için yapılacak işi temsil eder).

Φ_m : Metalin iş fonksiyonu (V)

| | $q\Phi_m$ (eV) |
|---------------|----------------|
| Altın (Au) | 5.1 |
| Platin (Pt) | 5.7 |
| Paladyum (Pd) | 5.1 |
| Tungsten (W) | 4.6 |

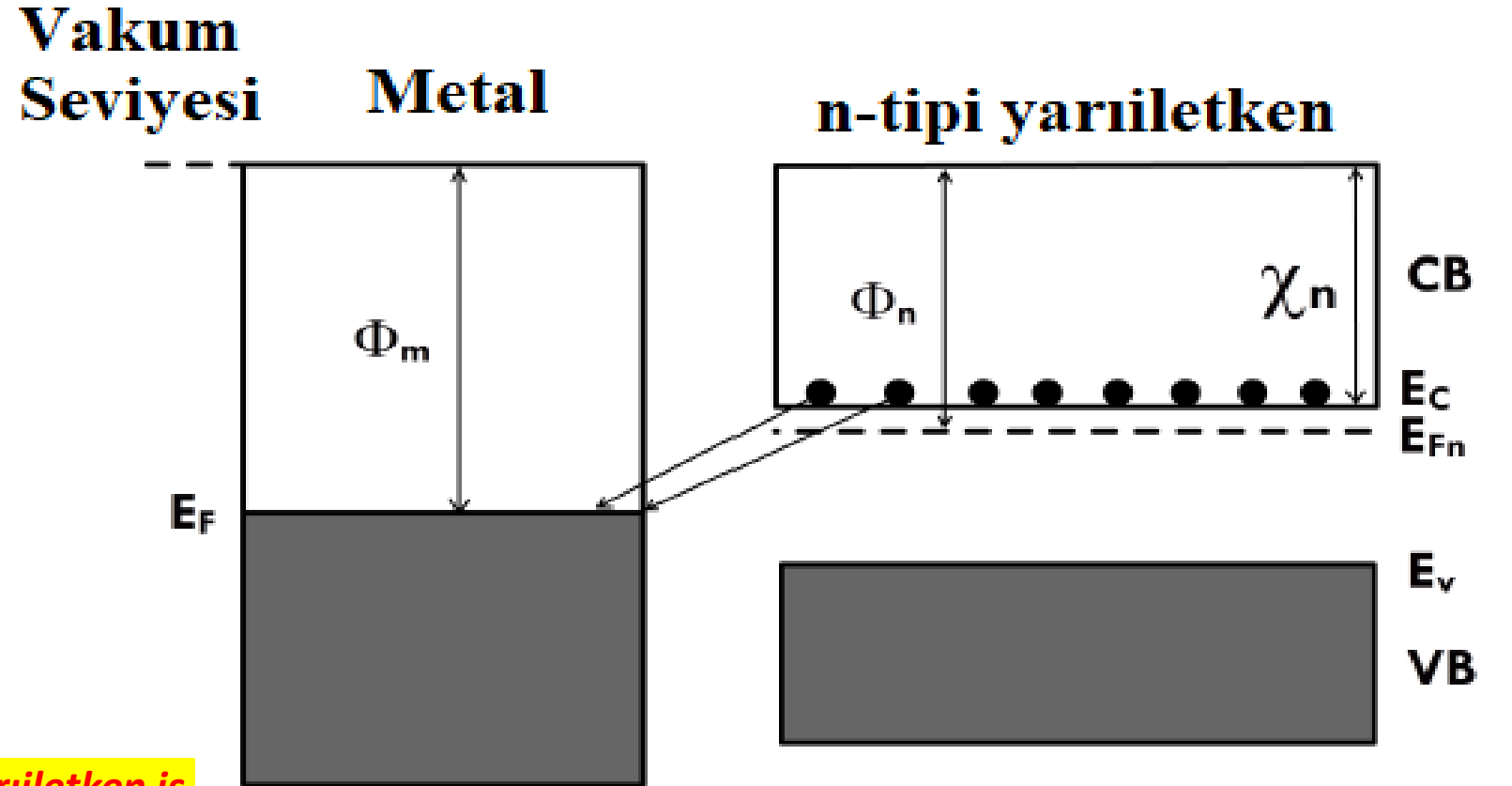
| | χ (eV) |
|---------------|-------------|
| Silisyum (Si) | 4.05 |

N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)

Φ (iş fonksiyonu): elektronu Fermi seviyesinden vakum seviyesine çıkarmak için gerekli enerji



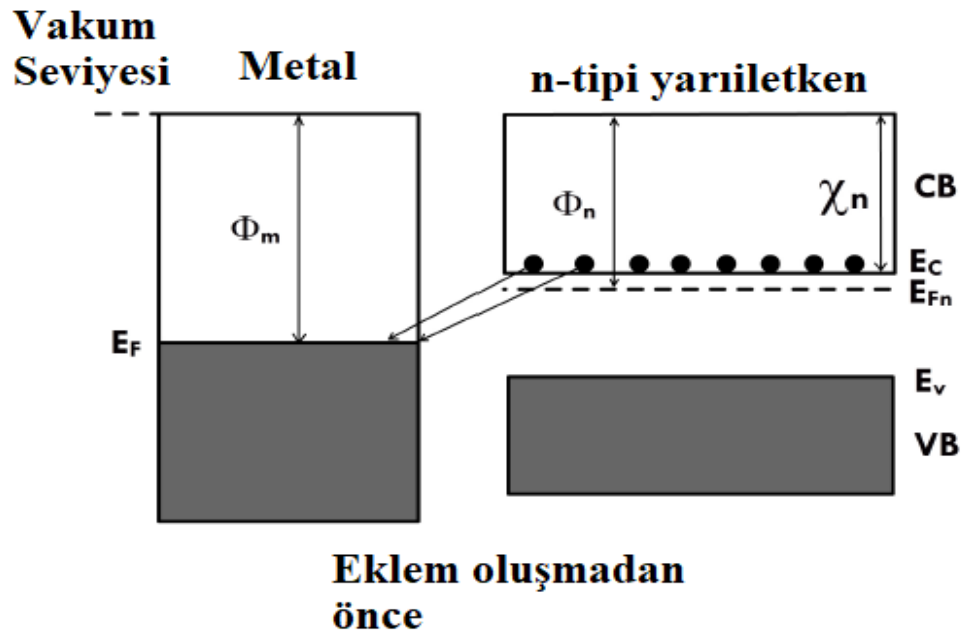
Metalin iş fonksiyonu sabittir, yarıiletken iş fonksiyonu katkı konsantrasyonuna bağlıdır (çünkü bu Fermi seviyesini etkiler ilk derslerde öğrenmiştik.)

Eklem oluşmadan önce

N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)



- Yarı iletkenin Fermi seviyesi daha yüksektir. (Yani; yarıiletkenin iş fonksiyonu metalin iş fonksiyonundan daha küçüktür),

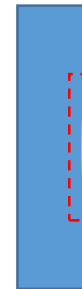
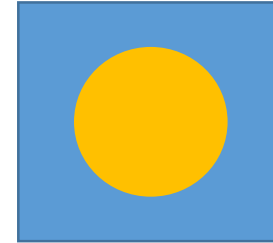
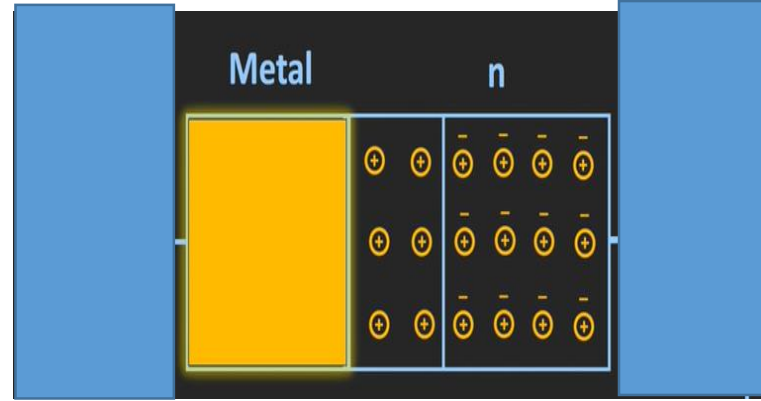
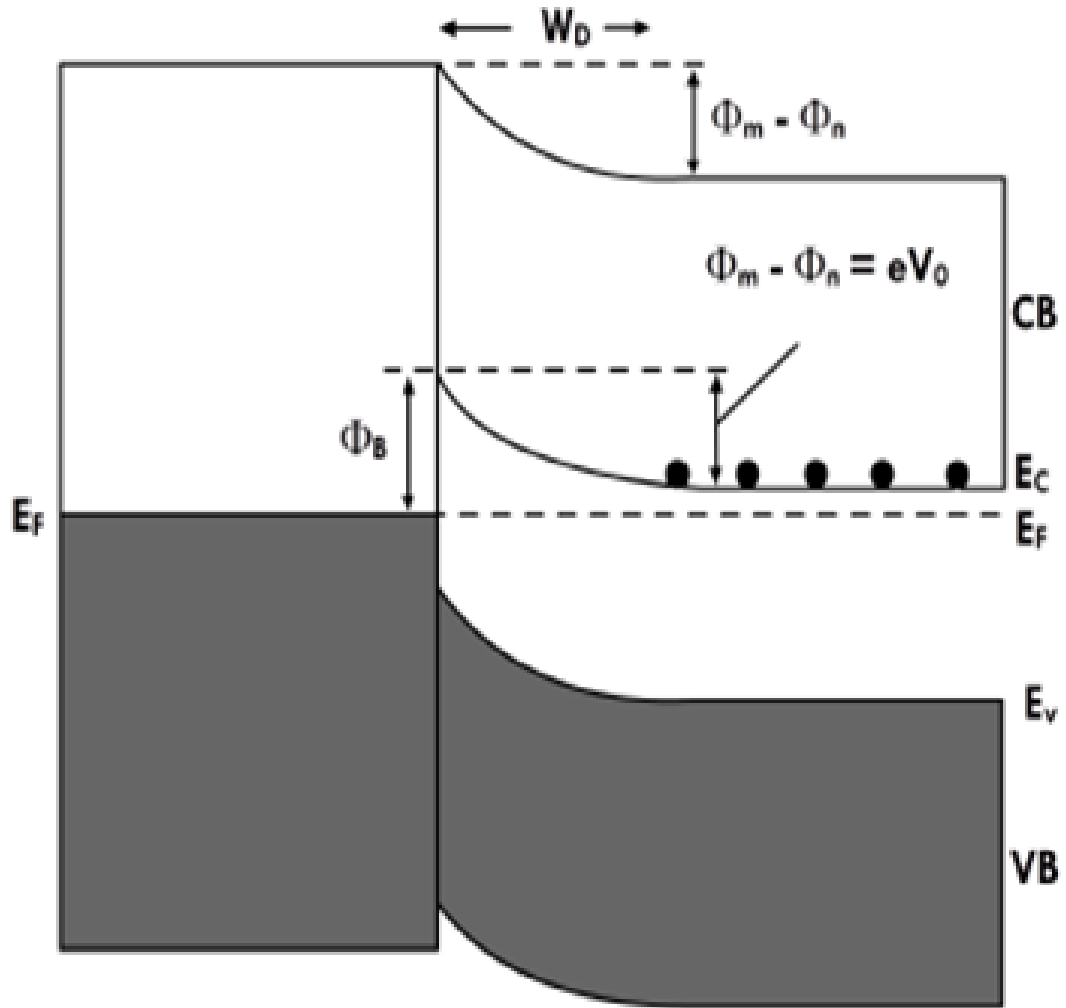
- *metal-yarı iletken birleşme noktası (eklemi) oluştuğunda Fermi seviyelerinin dengede olması (eşitlenmesi) gerekir.*

Yani yarı iletkenin iletkenlik bandında metalin Fermi seviyesinin üzerindeki boş enerji hallerine hareket edebilen elektronlar vardır.

N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)



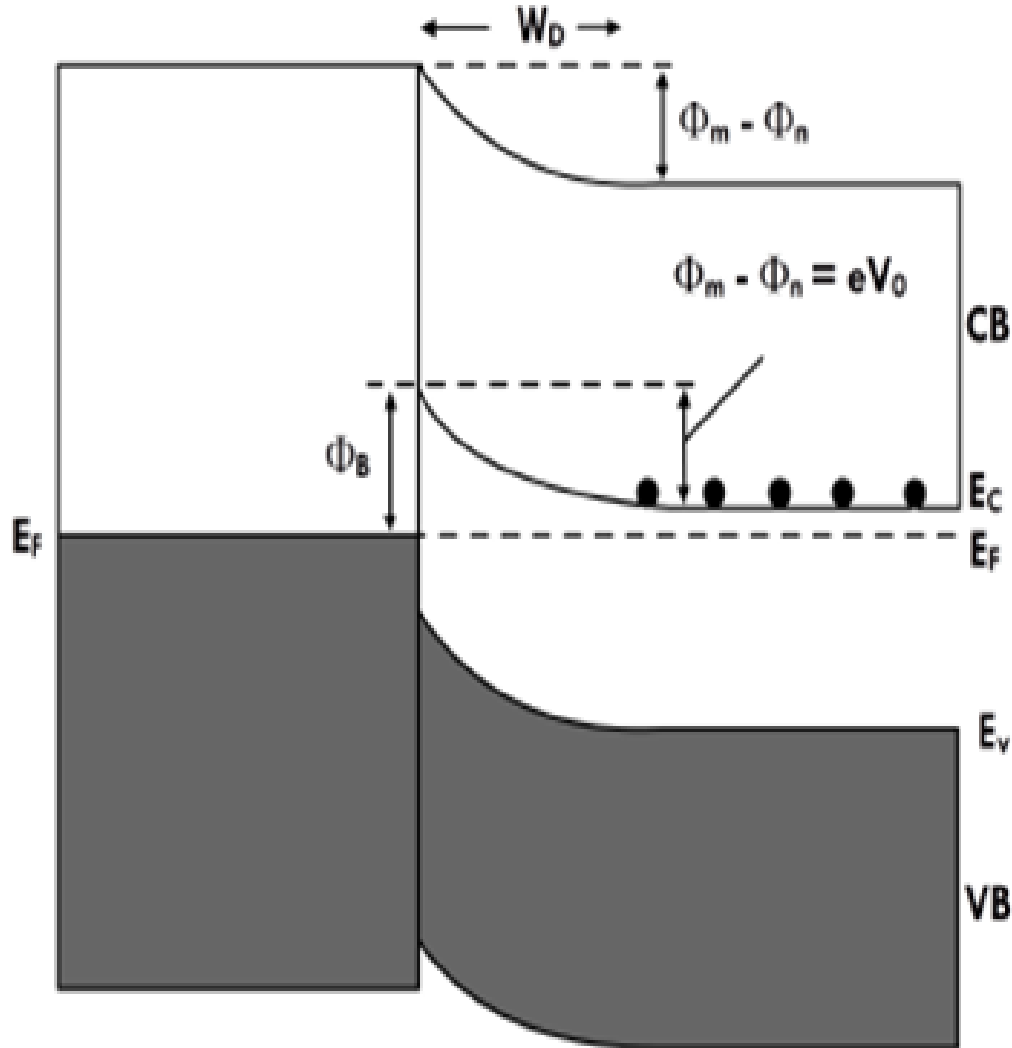
Ekleme oluştuğunda yarıiletkendeki elektronlar metal ile yarıiletkenin fermi enerji seviyeleri eşitleninceye kadar metale doğru geçerler.

- Bu, yarı iletken tarafında pozitif bir yük bırakmaktadır
- Metale yarıiletkenden geçen fazla elektronlar nedeniyle, metal tarafında negatif bir yük oluşurur.

N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)

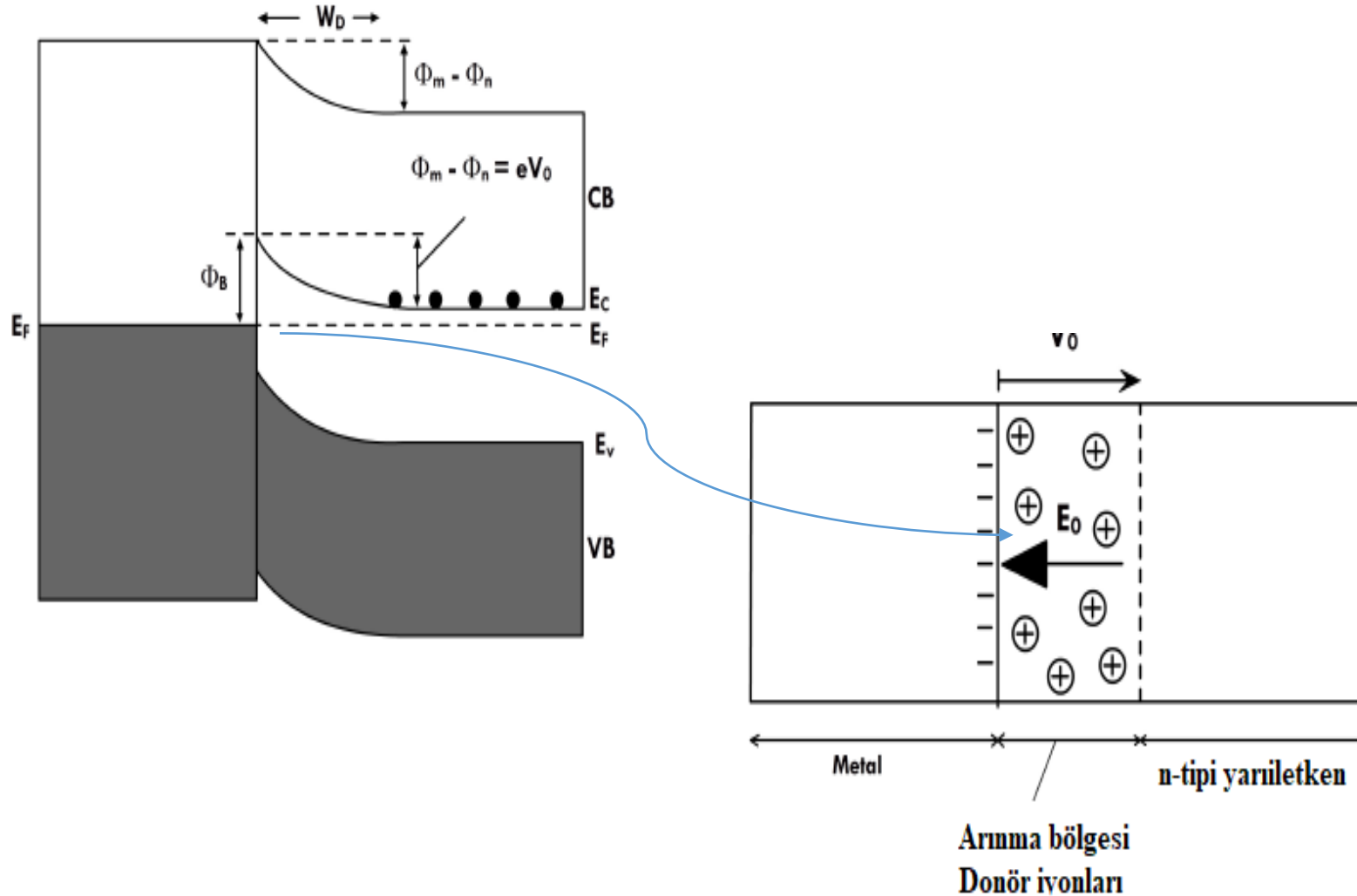


- Bu durum metalik yüzeyde gösterilen bir kontak potansiyeline yol açmaktadır.
- Bir metal ile yarı iletken arasında bir temas oluştuğunda, yarı iletken tarafındaki ($\sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) metale göre düşük yük (elektron) yoğunluğundan dolayı, elektronlar sadece yüzeyden değil, aynı zamanda belirli bir derinlikte de çıkarılır.
- Bu, yarıiletkende bir arınma bölgesinin (W_D) oluşumuna yol açar.

N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

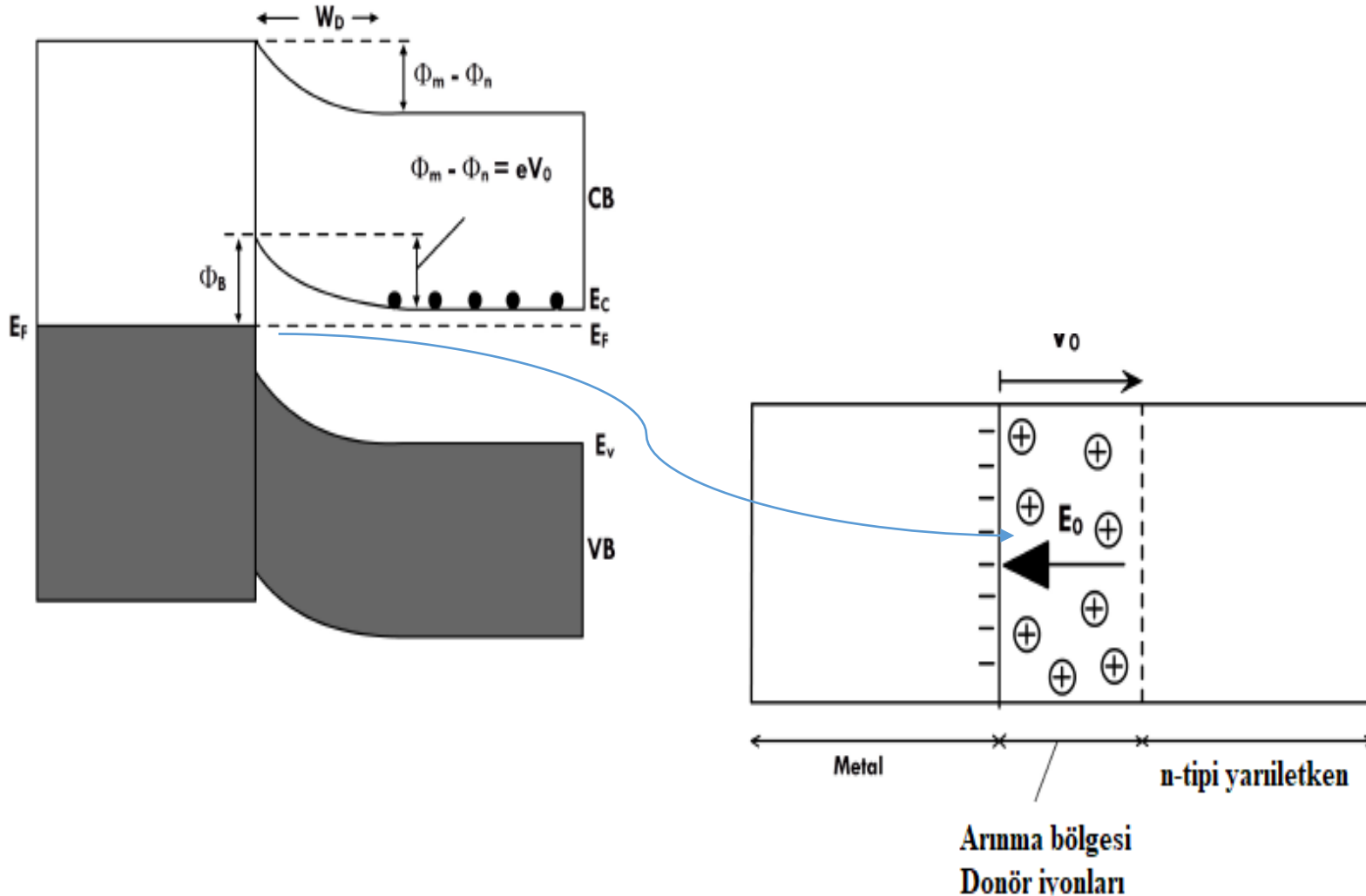
(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)



N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)

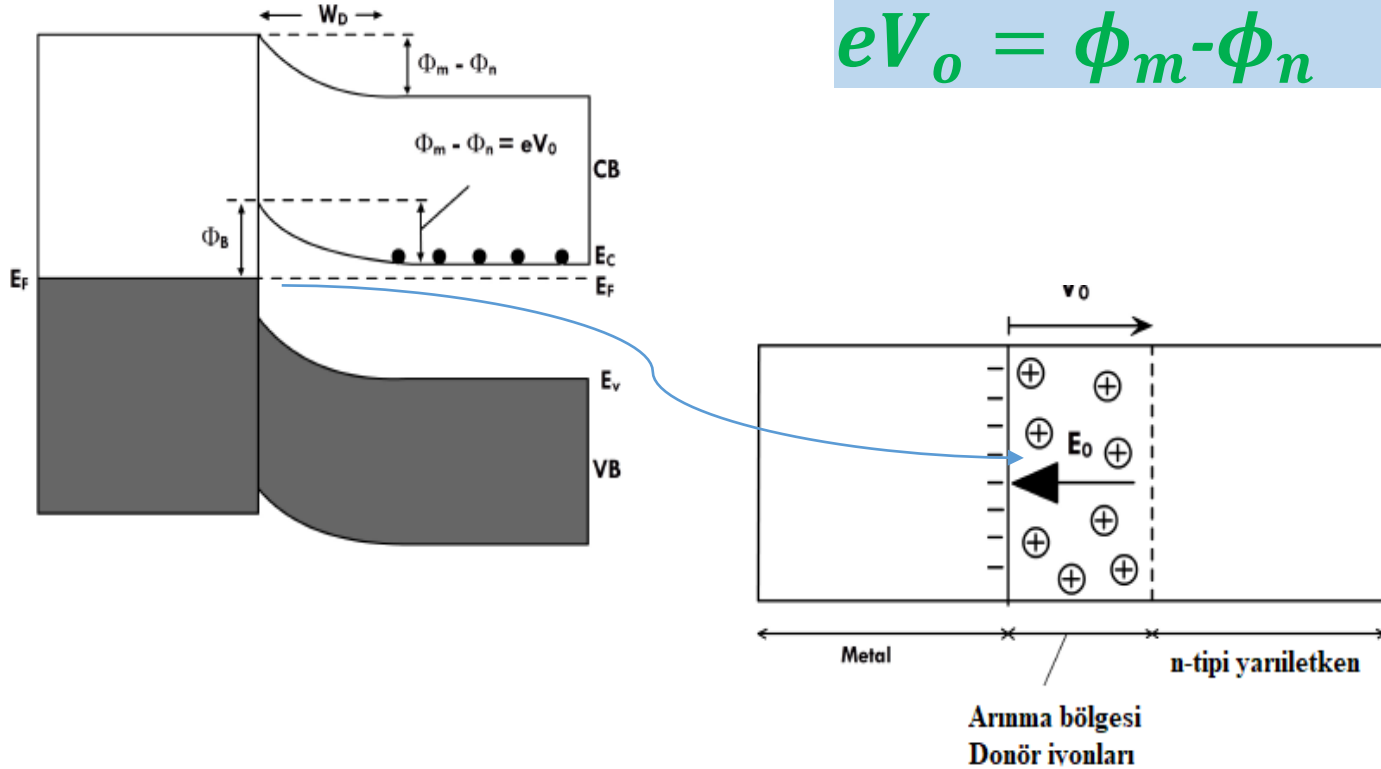


- Arınma bölgesi yarıiletkende belirli bir derinlikte uzandığından, yarıiletken tarafındaki enerji bantları bükülür.
- Bantlar elektrik alan (E_0 iç elektrik alan) yönünde bükülür (alan pozitif yükten negatif yüke, potansiyel yönün tersine gider).
- Bu, enerji bantlarının n-tipi yarı iletken den metale giden, şekilde büküldüğü anlamına gelir.

N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)



$$eV_0 = \phi_m - \phi_n$$

Arınma Bölgesi=Tükenme bölgesi için başka bir isim, uzay yükü katmanıdır.

Schottky eklemde oluşan (built in potential) potansiyel vardır, V_0 ile veya V_{bi} ile gösterilir iş fonksiyonlarındaki farkı ile hesaplanır.

Kontak potansiyeli, elektronların n-tipi yarı iletken den metale hareket etmesini engelleyen engeli temsil eder. İlk olarak, eklem oluştuğunda elektronlar, tükenme bölgesini oluşturmak için metale hareket eder. Bu şekilde oluşturulan temas potansiyeli, elektronların metale daha fazla hareket etmesini önler.

N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

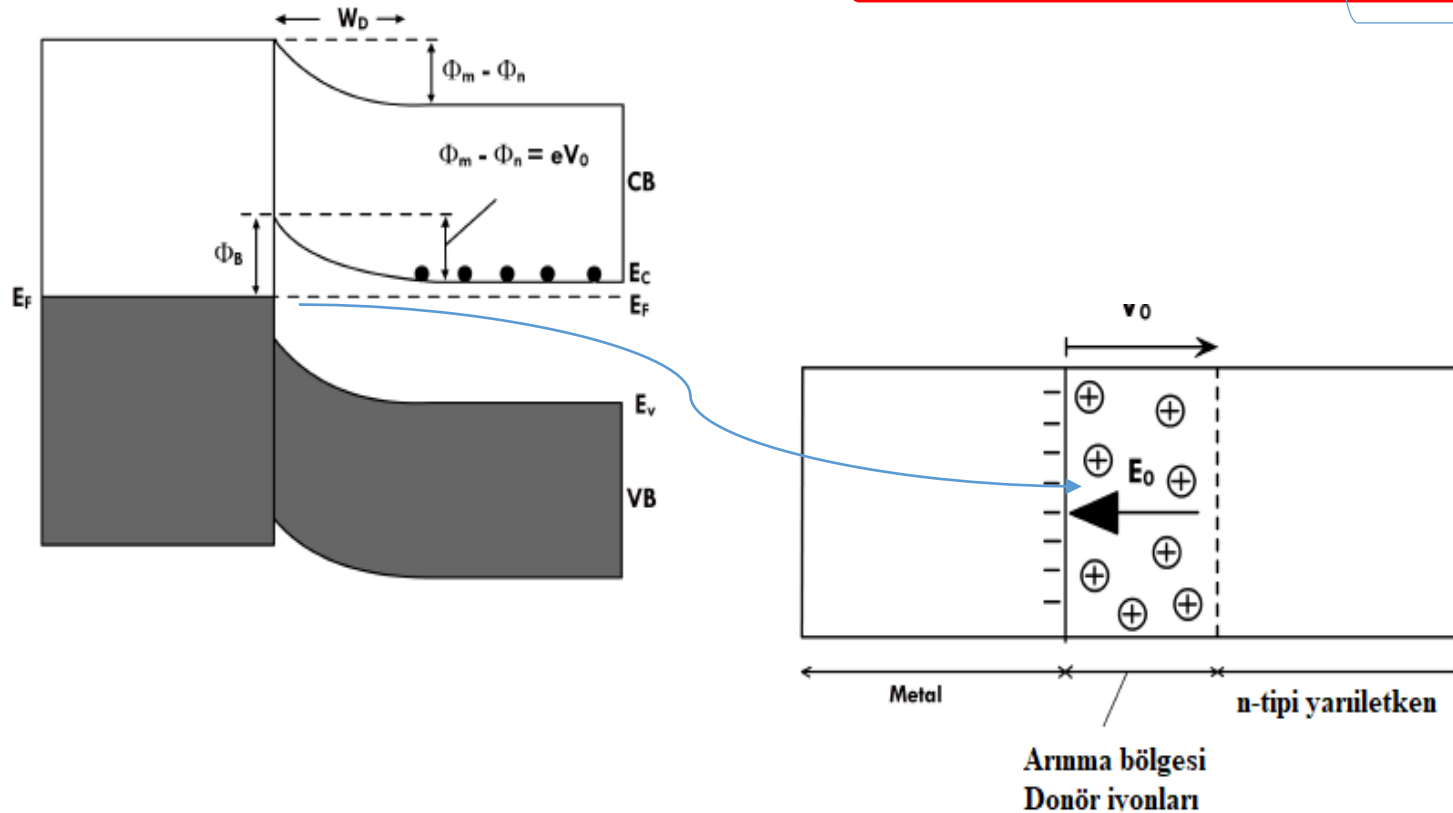
(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)

$$\phi_B = (\phi_m - \phi_n) + (E_c - E_{Fn}) = \phi_m - \chi_n$$

χ_n

Ayrıca elektronların metalden yarı iletkenlere geçmesi için bir bariyer vardır. Buna Schottky bariyeri denir ve ϕ_B ile gösterilir.

$$\phi_B = \phi_m - \chi_n$$

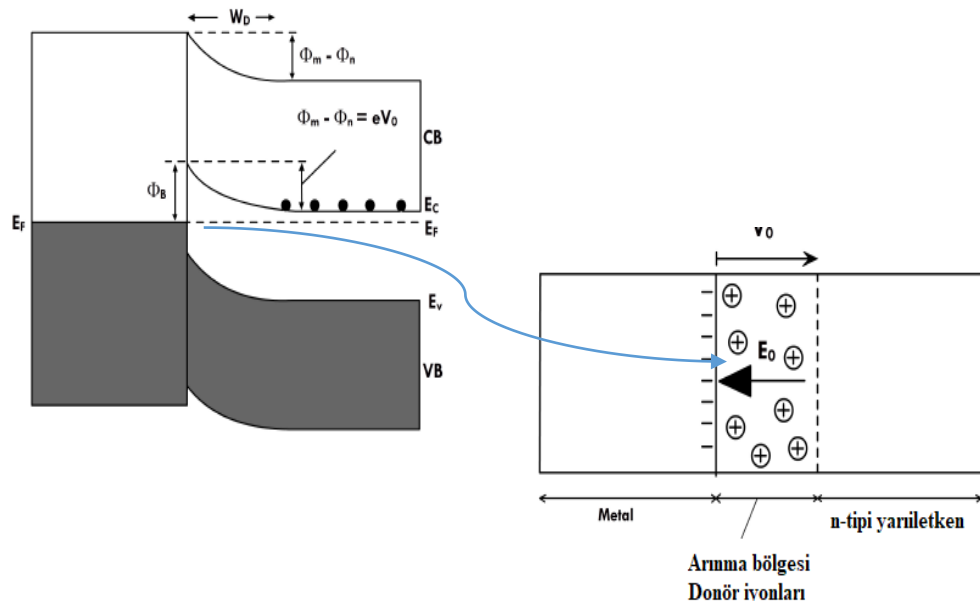


N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)

$$\phi_B = (\phi_m - \phi_n) + (E_c - E_{Fn}) = \phi_m - \chi_n$$

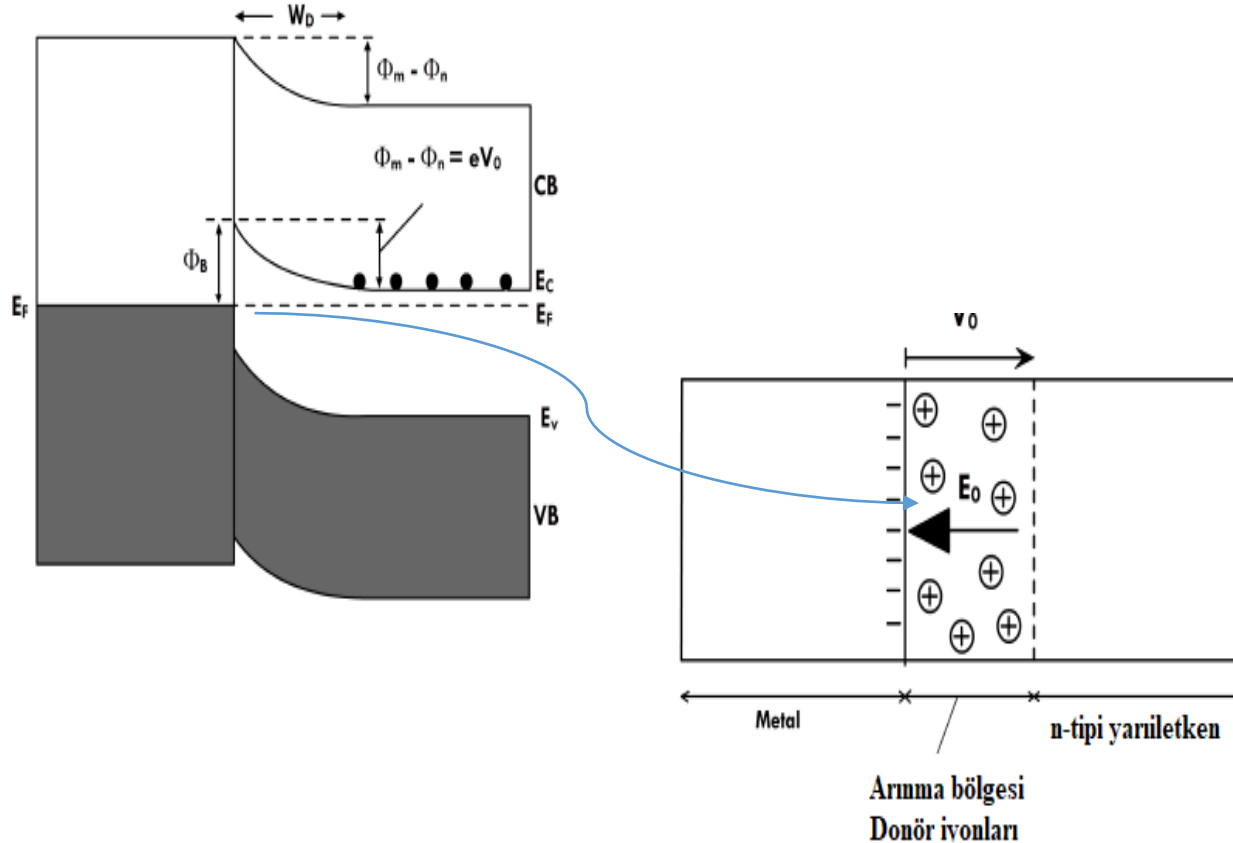


$$\phi_B = \phi_m - \chi_n$$

N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)



Dengede elektronların yarıiletkenden metale akışı, kontak potansiyeli ile dengelenir, böylece net akım olmaz.

Schottky eklem dış bir gerilim uygulanarak beslenebilir ve net akım sıfırdan farklı olur.

N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)

2 tip dış besleme vardır ve Akım, besleme tipine ve uygulanan dış potansiyel miktarına bağlıdır.

A- Doğru/(İLERİ) BESLEME (FORWARD BIASING) –
pozitif kutup metal tarafa ve negatif kutup n tipi yarıiletken tarafa bağlanır

B- Ters / (GERİ) BESLEME –(REVERSE BIASING)
Dış güç kaynağının negatif kutup metal tarafa ve pozitif kutup n tipi yarıiletken tarafa bağlanır.

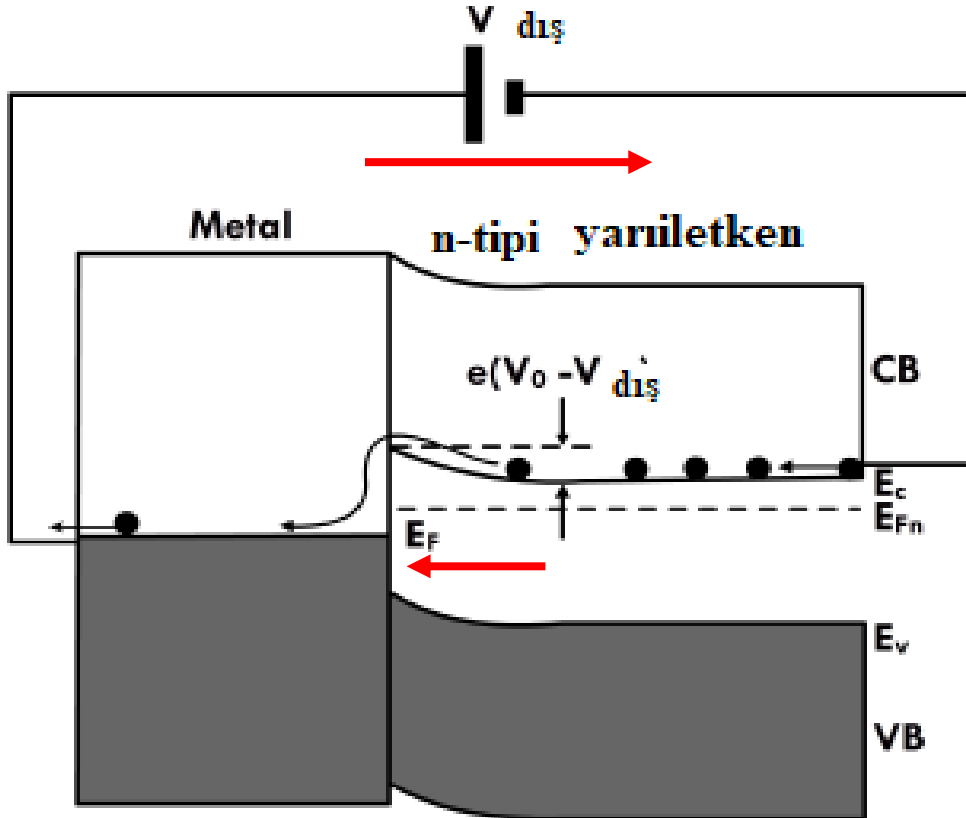
N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)

A- Doğru/(İLERİ) BESLEME (FORWARD BIASING)

pozitif kutup metal tarafa ve negatif kutup n tipi yarıiletken tarafa bağlanır



- Doğru besleme yapılmış bir Schottky kavşağında, dış elektrik alan, iç elektrik alana karşı çıkacak şekilde uygulanmış olur.
- Direncin en yüksek olduğu bölge, eklem yanındaki arınma bölgesi olduğundan, voltaj düşüşü arınma bölgesi boyuncadır.

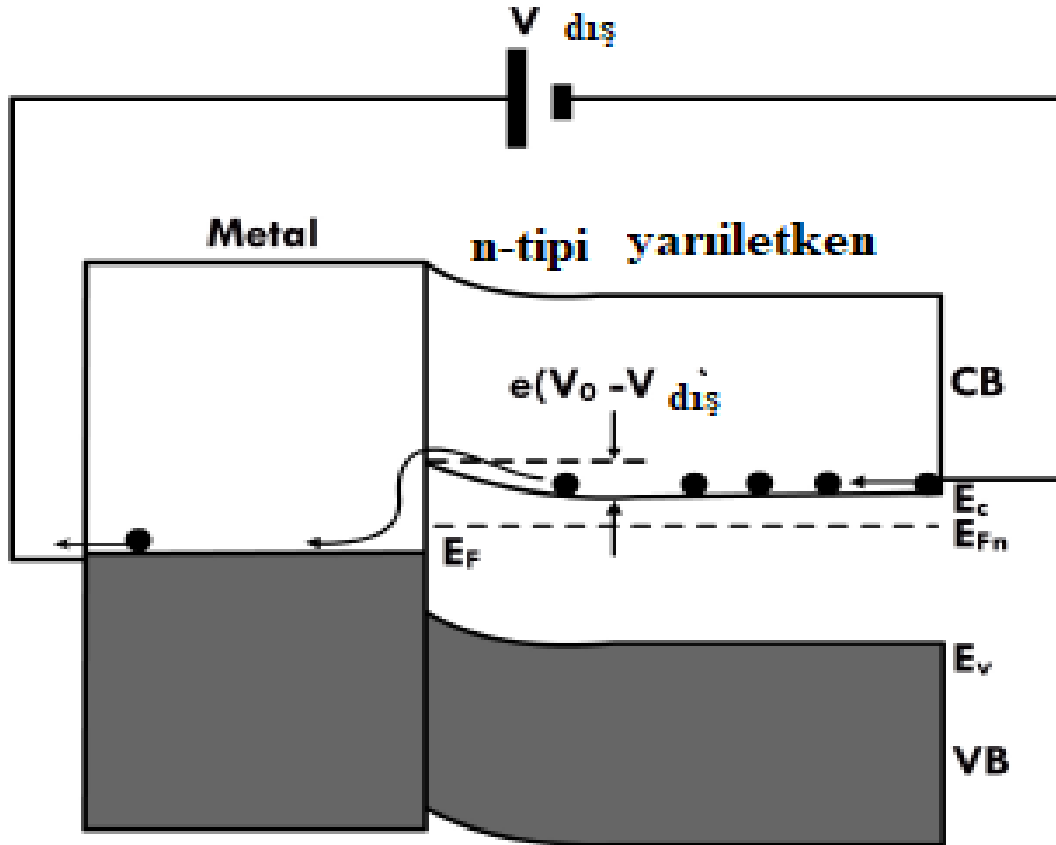
N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)

A- Doğru/(İLERİ) BESLEME (FORWARD BIASING) –

pozitif kutup metal tarafa ve negatif kutup n tipi yarıiletken tarafa bağlanır



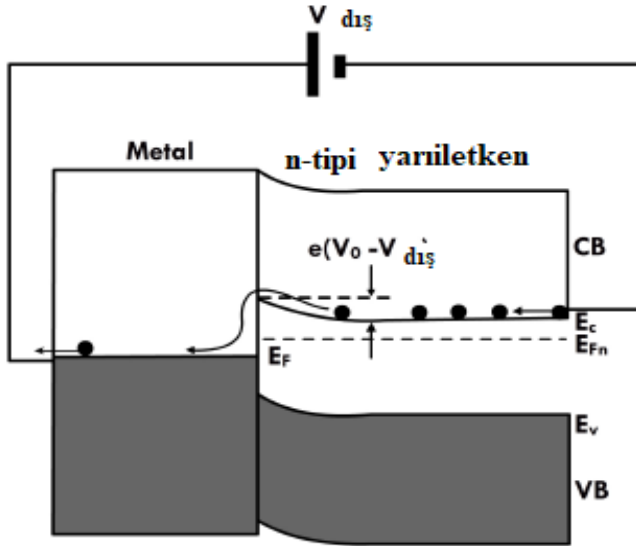
- Doğru dış besleme altında, Fermi seviyeleri artık eşit seviyede değildir, ancak birbirlerine göre kaydırılır ve kaymanın büyüklüğü uygulanan gerilime bağlıdır.
- Schottky bağlantısının ileri besleme durumunda enerji bandı şeması şekilde gösterilmiştir. Bu nedenle, dış devreden n-tipi yarı iletken içine enjekte edilen elektronlar, metale ulaşmadan önce yarıiletken içinde daha düşük bir bariyerle karşılaşırlar.

N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)

A- Doğru/(İLERİ) BESLEME (FORWARD BIASING) –
pozitif kutup metal tarafa ve negatif kutup n tipi yarıiletken tarafa bağlanır



- Bu, artan dış potansiyelle birlikte devrede artan bir akıma neden olur.

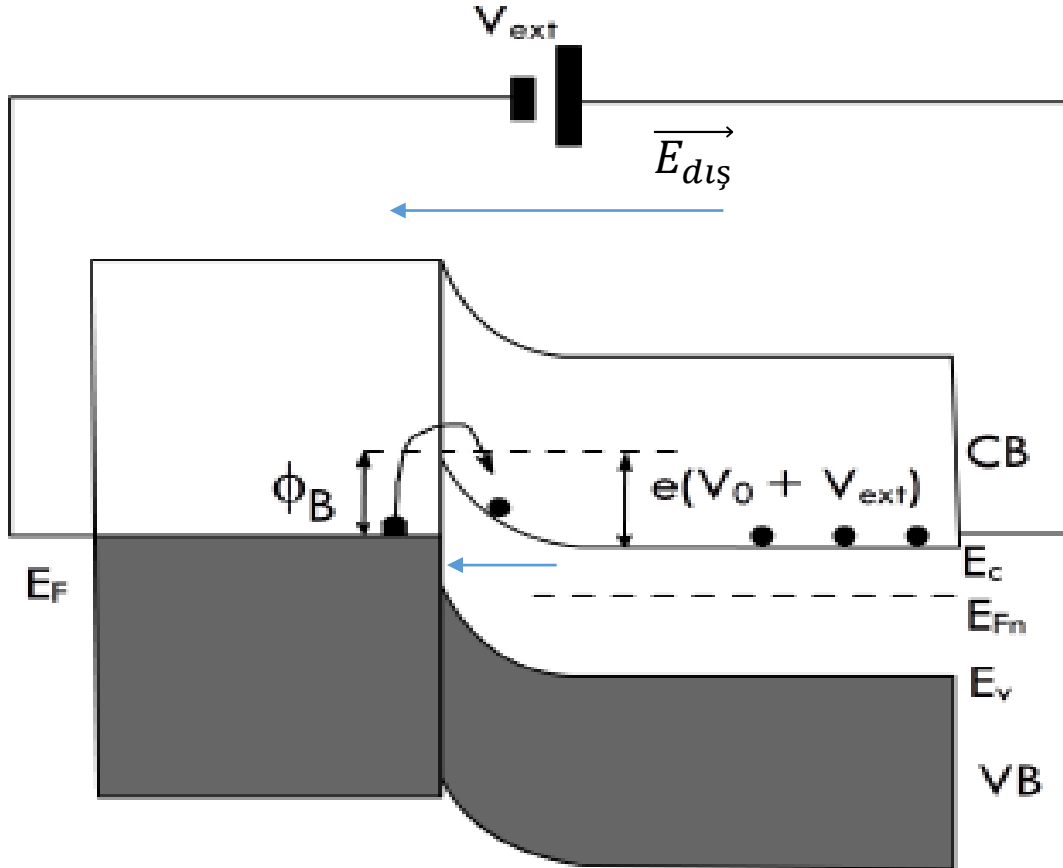
N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)

B- Ters / (GERİ) BESLEME –(REVERSE BIASING)

Dış güç kaynağını negatif kutup metal tarafa ve pozitif kutup n tipi yarıiletken tarafa bağlanır.



- dış elektrik alan bu sefer, iç elektrik alan ile aynı yönde oluşur.
- Fermi seviyeleri artık sıralanmaz,
- n-tipi yarı iletken den metale elektron hareketi için bariyer yükselir.
- Elektron akışı şimdi metalden yarı iletkene doğru ve bunun için bariyer Schottky bariyeri (ϕ_B)
- Bu nedenle, büyüklüğü J_0 'a eşit olan ters besleme durumunda sabit bir akım vardır.

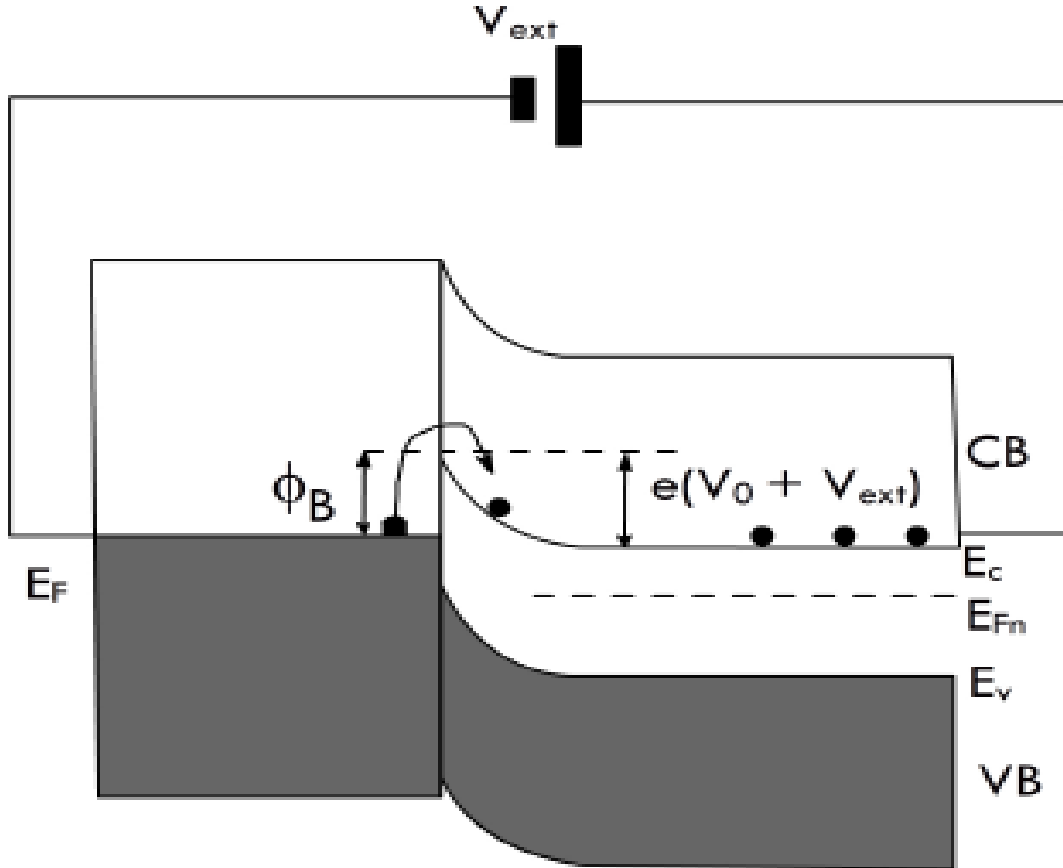
N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)

B- Ters / (GERİ) BESLEME –(REVERSE BIASING)

negatif kutup metal tarafa ve pozitif kutup n tipi yarıiletken tarafa bağlanır.



- Bu nedenle, büyüklüğü J_0 'a eşit olan ters besleme durumunda sabit bir akım vardır.

$$J_0 = AT^2 \exp\left(-\frac{\phi_B}{k_B T}\right)$$

burada A, termiyonik emisyon için Richardson sabitidir ve malzemeye özgü bir özelliktir.

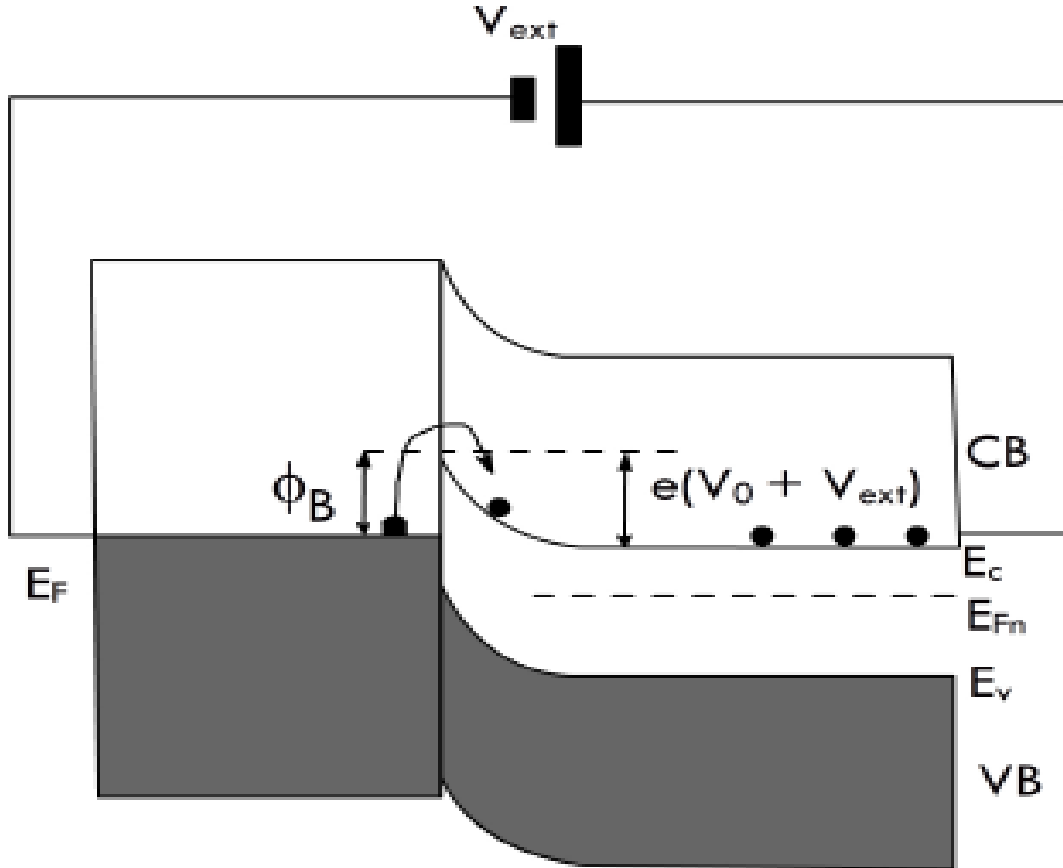
N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)

B- Ters / (GERİ) BESLEME –(REVERSE BIASING)

negatif kutup metal tarafa ve pozitif kutup n tipi yarıiletken tarafa bağlanır.



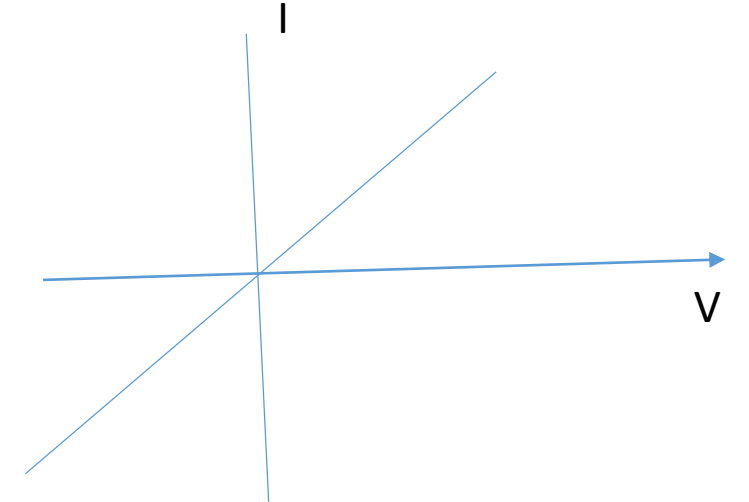
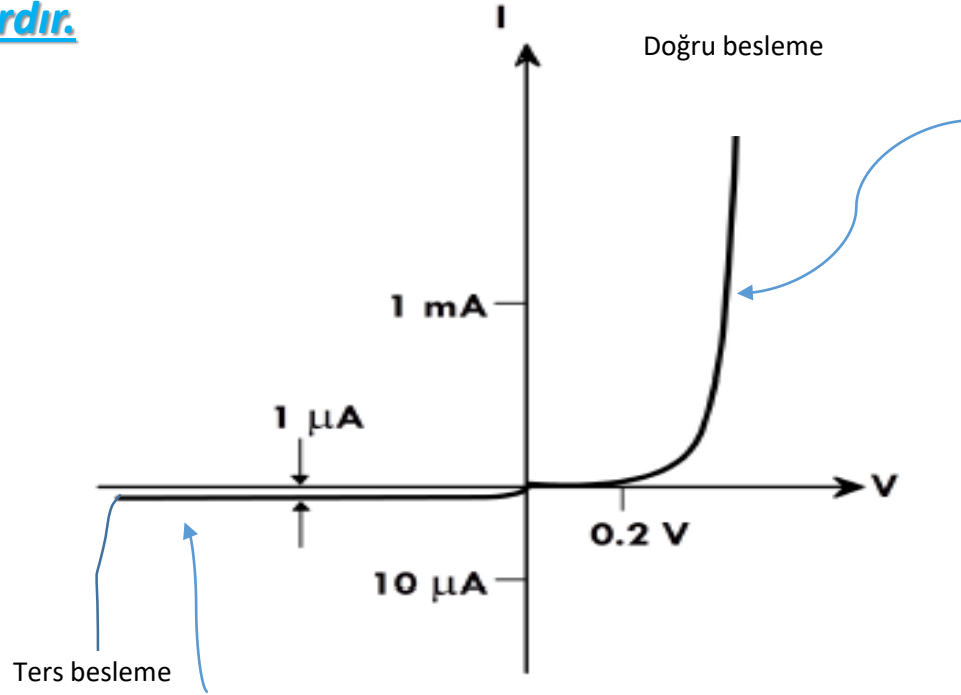
- Hesaplamalardan ileri beslemedeki akımın ters beslemedeki akımdan daha büyük olduğu gösterilebilir
- Bu yüzden bir Schottky diyodu bir doğrultucu görevi görür, yani ileriye/doğru besleme durumunda iletir, ancak ters besleme durumunda akım sızıntı şeklinde çok azdır, akım akmaz da denir.

N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $>$ ϕ_n (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU/SCHOTTKY KONTAK)

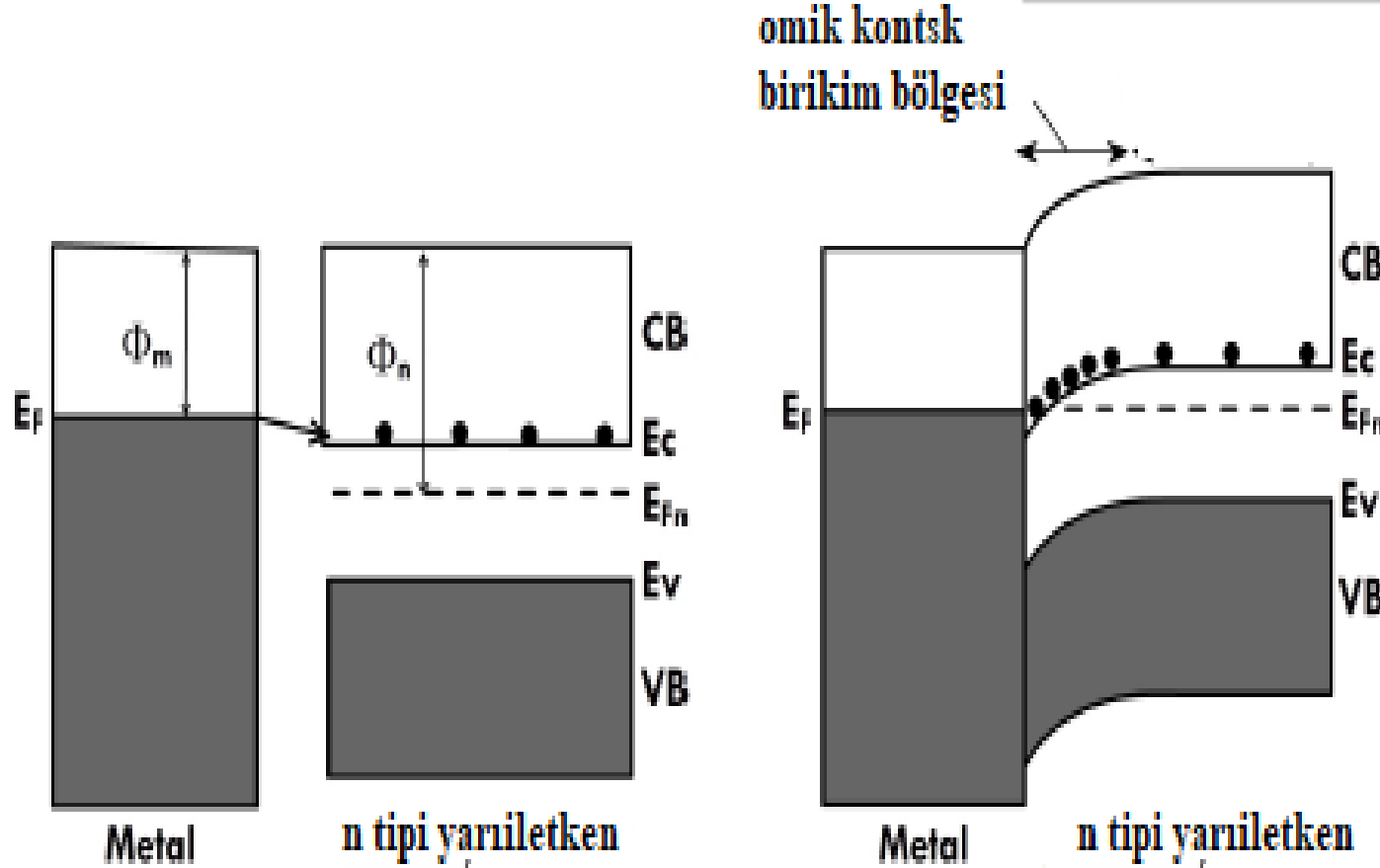
Schotky eklem/diyodun/kavşağın akım gerilim I-V karakteristiği şekilde gösterilmektedir.
Ters eğilimde (-V bölgesinde) küçük bir akım varken ileri beslemede (+V) akımda üstel bir artış vardır.



N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

2. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $< \phi_n$ (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

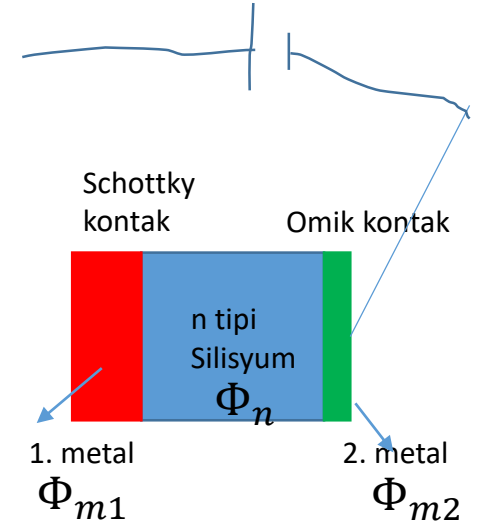
(DOĞRULTUCU OLMAYAN/OMİKKONTAK)



(a) Temastan önce

(b) Temastan sonra

$$\Phi_{m1} > \Phi_n > \Phi_{m2}$$

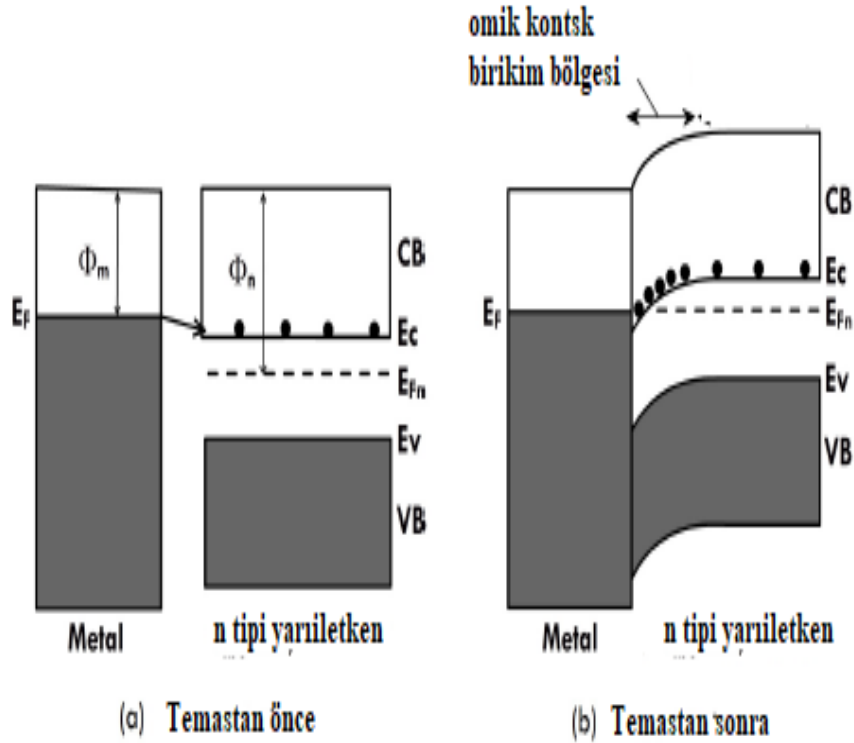


1. Metal n tipi Silisyum ile Schottky oluşturan iş fonksiyonuna sahip metaldir.
2. Metal n tipi Silisyum ile Omik kontak oluşturan iş fonksiyonuna sahip metaldir.

N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

2. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $< \phi_n$ (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

(DOĞRULTUCU OLMAYAN/OMİKKONTAK)



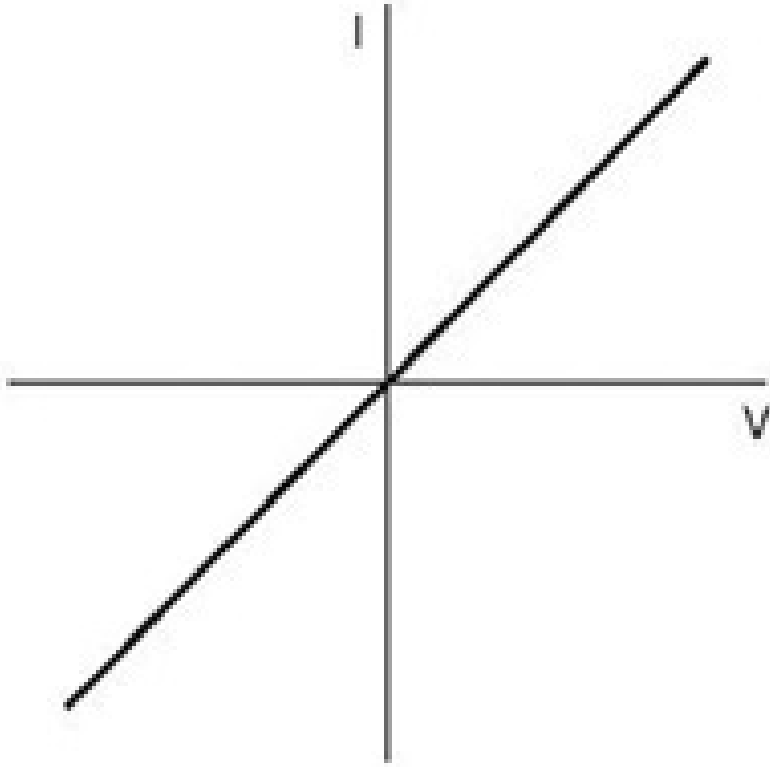
- Yarıiletken daha yüksek bir iş fonksiyonuna sahip olduğunda, oluşan kontağa Ohmik kontak denir.
- Dengede, elektronlar metalden yarıiletkenin iletkenlik bandındaki boş durumlara hareket eder, böylece ara yüzün yakınında (yarı iletken tarafında) bir birikim bölgesi olur.
- Birikme bölgesi, bu yüksek elektron konsantrasyonundan dolayı yarı iletkenin iç bölgelerine göre daha yüksek bir iletkenliğe sahip olur. Böylece, bir Ohmik kavşak hem ileri hem de ters beslemede aynı akımı iletir.
- Direnç, yarıiletkenin direnci ile belirlenir.

N-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

2. ϕ_m (Metalin iş fonksiyonu) $< \phi_n$ (Yarıiletkenin iş fonksiyonu)

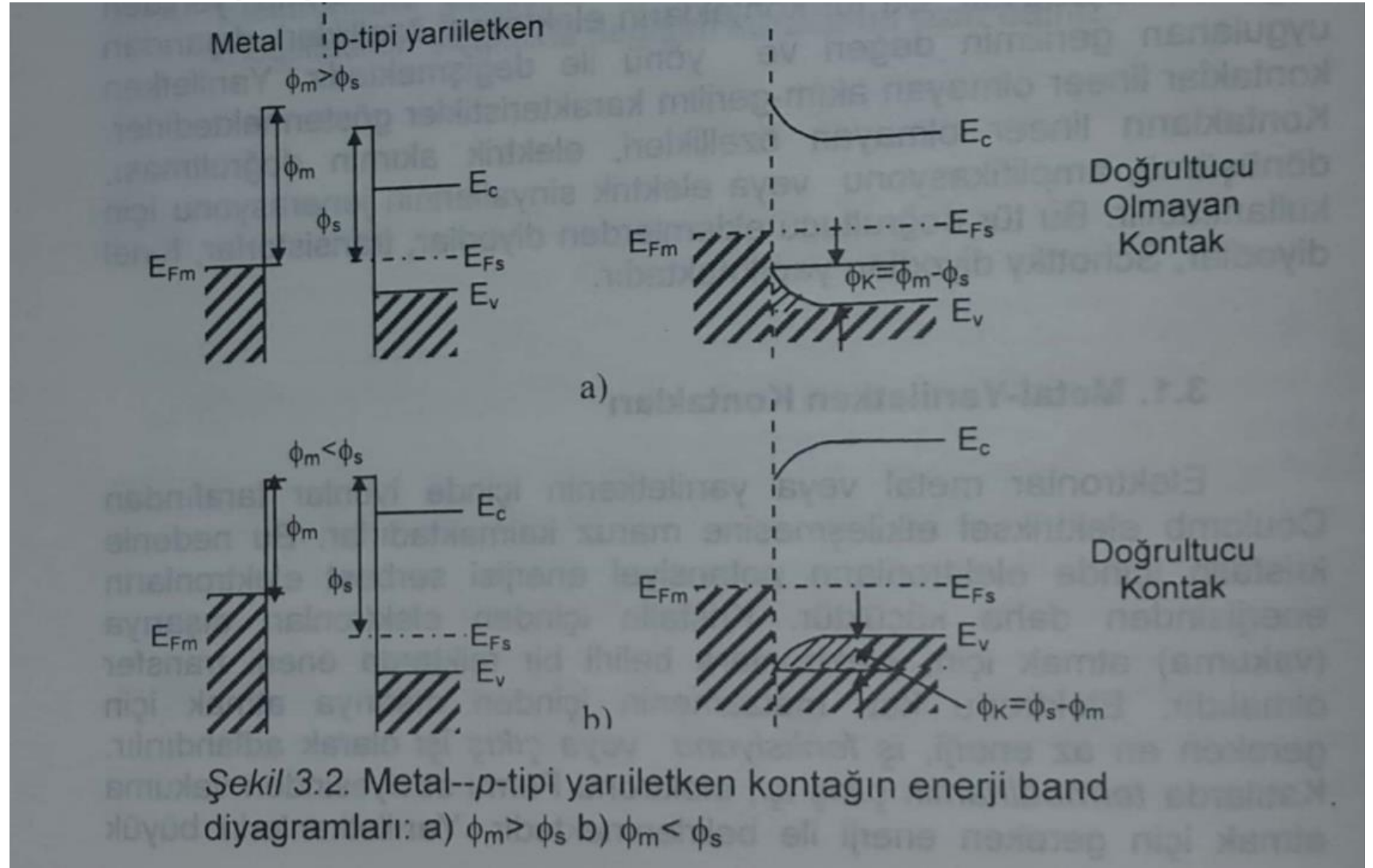
(DOĞRULTUCU OLMAYAN/OMİKKONTAK)

- Akım gerilim karakteristiği aşağıda verilmiştir



P-TİPİ YARIİLETKENLER İÇİN;

1. $a - \phi_m$ (Metalin iş fonksiyonu) $> \phi_p$ veya ϕ_s (Yarıiletkenin iş fonksiyonu) (OMİK KONTAK)
2. $b - \phi_m$ (Metalin iş fonksiyonu) $< \phi_p$ veya ϕ_s (Yarıiletkenin iş fonksiyonu) (DOĞRULTUCU SCHOTTKY KONTAK)



Yarı iletkenler (n ve p) ve metallerin (alaşımlar) kombinasyonu normalde Ohmik kontaklar oluşturan çiftler.
Principles of Electronic Materials - S.O.' Kasap.
dan uyarlanmıştır.

| N tipi YI | Metal | P tipi YI | Metal |
|-----------|---------------------------------|-----------|-------------------------------------------------|
| Ge | Al, Au, Bi, Sb, Sn | Ge | Ag, Al, Au, Cu, Ga, In, Ni, Pt, Sn |
| Si | Ag, Al, Ni, Sn, In, Sb, Ti, TiN | Si | Ag, Al, Au, Ni, Pt, Sn, In, Pb, Ga, Ge, Ti, TiN |
| GaAs | Ag-Sn | GaAs | Ag-Zn |
| GaP | Al, Au-Si, Au-Sn, In-Sn | GaP | Au-Zn, Ga, Zn, Ag-Zn |
| GaAsP | Au-Sn | GaAsP | Au-Zn |
| GaAlAs | Au-Ge-Ni | GaAlAs | Au-Zn |
| InAs | Au-Ge, Sn | InAs | Al |
| InGaAs | Au-Ge, Ni | InGaAs | Au-Zn, Ni |
| CdS | Ag, Al, Au, Ga, In | | |
| CdTe | In | CdTe | Au, In-Ni, Pt, Rh |
| ZnSe | In, In-Ga, Pt | | |
| SiC | W | SiC | Al-Si, Si, Ni |

Düz bant diyagramı ve V_{bi} (Oluşum) potansiyel

Örnek:

$N_D = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ olan bir krom-silikon metal-yarı iletken Schottky diyot için bariyer yüksekliğini ve oluşum potansiyelini hesaplayın.

Aynı katkı konsantrasyonuna sahip sahip p-tipi bir yarı iletken için tekrarlayın.

Krom/n-tipi silisyum

$$\phi_B = \Phi_M - \chi = 4.5 - 4.05 = 0.45 \text{ V}$$

$$\phi_A = \phi_B - V_t \ln \frac{N_c}{N_d} = 0.45 - 0.0259 \ln \frac{2.82 \times 10^{19}}{10^{17}} = 0.30 \text{ V}$$

Krom/p-tipi silisyum

$$\phi_B = \chi + \frac{E_g}{q} - \Phi_M = 4.05 + 1.12 - 4.5 = 0.67 \text{ V}$$

$$\phi_A = \phi_B - V_t \ln \frac{N_v}{N_a} = 0.67 - 0.0259 \ln \frac{1.83 \times 10^{19}}{10^{17}} = 0.53 \text{ V}$$

Referanslar:

Principles of Electronic Materials - S.O. Kasap.
Katıhal Elektroniği, Tayyar Caferov