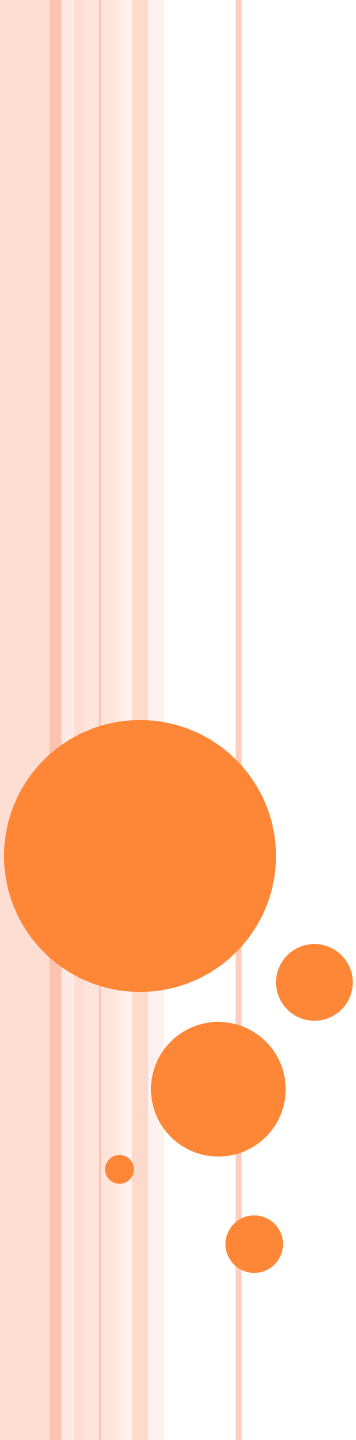




LED (LIGHT EMITTING DIODE)

YARIİLETKEN LED MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

- Optoelektronik uygulamalarda kullanılan ve ışık yayma özelliği gösteren yarıiletken malzemeler periyodik cetvelin III. ve V. grup (Al,Ga,N,InP,As) elementlerinin, IV. grup (Si,C,Ge) elementlerinin veya II. ve VI. grup (Zn,S,Cd,Se,Te) elementlerinin belli oranlarda birleştirilmesi ile üretilebilirler.

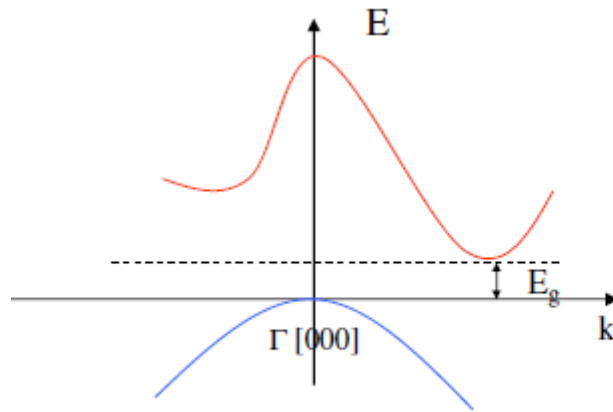
11.3.2015

PERİYODİK TABLO

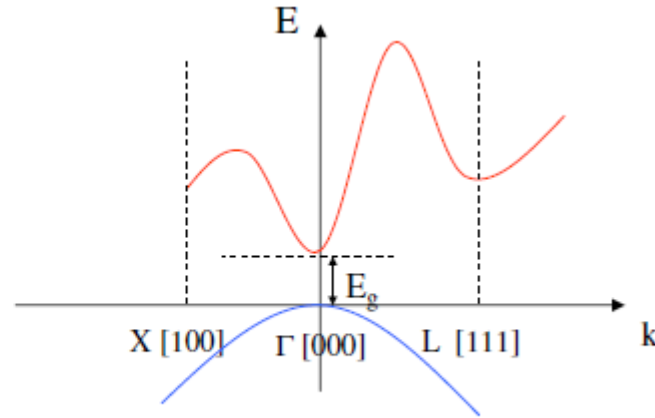
1 H Hydrogen (1.0079)																	2 He Helium (4.0026)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
3 Li Lithium (6.941)	4 Be Beryllium (9.0122)											5 B Boron (10.811)	6 C Carbon (12.011)	7 N Nitrogen (14.007)	8 O Oxygen (15.999)	9 F Fluorine (18.998)	10 Ne Neon (20.180)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
11 Na Sodium (22.990)	12 Mg Magnesium (24.305)											13 Al Aluminum (26.982)	14 Si Silicon (28.086)	15 P Phosphorus (30.974)	16 S Sulfur (32.065)	17 Cl Chlorine (35.453)	18 Ar Argon (39.948)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
19 K Potassium (39.098)	20 Ca Calcium (40.078)	21 Sc Scandium (44.956)	22 Ti Titanium (47.88)	23 V Vanadium (50.942)	24 Cr Chromium (51.996)	25 Mn Manganese (54.938)	26 Fe Iron (55.847)	27 Co Cobalt (58.933)	28 Ni Nickel (58.69)	29 Cu Copper (63.546)	30 Zn Zinc (65.38)	31 Ga Gallium (69.723)	32 Ge Germanium (72.61)	33 As Arsenic (74.922)	34 Se Selenium (78.96)	35 Br Bromine (79.904)	36 Kr Krypton (83.80)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
37 Rb Rubidium (85.47)	38 Sr Strontium (87.62)	39 Y Yttrium (88.906)	40 Zr Zirconium (91.224)	41 Nb Niobium (92.906)	42 Mo Molybdenum (95.94)	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium (101.07)	45 Rh Rhodium (102.91)	46 Pd Palladium (106.42)	47 Ag Silver (107.87)	48 Cd Cadmium (112.41)	49 In Indium (114.82)	50 Sn Tin (118.71)	51 Sb Antimony (121.76)	52 Te Tellurium (127.6)	53 I Iodine (126.905)	54 Xe Xenon (131.29)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
55 Cs Cesium (132.91)	56 Ba Barium (137.33)	57 La Lanthanum (138.905)	58 Ce Cerium (140.12)	59 Pr Praseodymium (140.908)	60 Nd Neodymium (144.24)	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium (150.36)	63 Eu Europium (151.96)	64 Gd Gadolinium (157.25)	65 Tb Terbium (158.93)	66 Dy Dysprosium (162.50)	67 Ho Holmium (164.93)	68 Er Erbium (167.26)	69 Tm Thulium (168.93)	70 Yb Ytterbium (173.05)	71 Lu Lutetium (174.967)	72 Hf Hafnium (178.49)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
73 Ta Tantalum (180.948)	74 W Tungsten (183.84)	75 Re Rhenium (186.21)	76 Os Osmium (190.23)	77 Ir Iridium (192.22)	78 Pt Platinum (195.08)	79 Au Gold (196.967)	80 Hg Mercury (200.59)	81 Tl Thallium (204.38)	82 Pb Lead (207.2)	83 Bi Bismuth (208.98)	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)	87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium (232.04)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
91 Pa Protactinium (231)	92 U Uranium (238.03)	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (260)	104 Uuq Ununquadium (261)	105 Uuh Ununhexium (262)	106 Uuo Ununoctium (263)	107 Uus Ununseptium (264)	108 Uuo Ununoctium (263)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
109 Co Cobalt (58.933)	110 Ni Nickel (58.693)	111 Cu Copper (63.546)	112 Zn Zinc (65.38)	113 Ga Gallium (69.723)	114 Ge Germanium (72.631)	115 As Arsenic (74.922)	116 Se Selenium (78.96)	117 Br Bromine (79.904)	118 Kr Krypton (83.80)	119 Rb Rubidium (85.468)	120 Sr Strontium (87.62)	121 Y Yttrium (88.906)	122 Zr Zirconium (91.224)	123 Nb Niobium (92.906)	124 Mo Molybdenum (95.94)	125 Tc Technetium (98)	126 Ru Ruthenium (101.07)	127 Rh Rhodium (102.91)	128 Pd Palladium (106.42)	129 Ag Silver (107.87)	130 Cd Cadmium (112.41)	131 In Indium (114.82)	132 Sn Tin (118.71)	133 Sb Antimony (121.76)	134 Te Tellurium (127.6)	135 I Iodine (126.905)	136 Xe Xenon (131.29)	137 Cs Cesium (132.91)	138 Ba Barium (137.33)	139 La Lanthanum (138.905)	140 Ce Cerium (140.12)	141 Pr Praseodymium (140.908)	142 Nd Neodymium (144.24)	143 Pm Promethium (145)	144 Sm Samarium (150.36)	145 Eu Europium (151.96)	146 Gd Gadolinium (157.25)	147 Tb Terbium (158.93)	148 Dy Dysprosium (162.50)	149 Ho Holmium (164.93)	150 Er Erbium (167.26)	151 Tm Thulium (168.93)	152 Yb Ytterbium (173.05)	153 Lu Lutetium (174.967)	154 Hf Hafnium (178.49)	155 Ta Tantalum (180.948)	156 W Tungsten (183.84)	157 Re Rhenium (186.21)	158 Os Osmium (190.23)	159 Ir Iridium (192.22)	160 Pt Platinum (195.08)	161 Au Gold (196.967)	162 Hg Mercury (200.59)	163 Tl Thallium (204.38)	164 Pb Lead (207.2)	165 Bi Bismuth (208.98)	166 Po Polonium (209)	167 At Astatine (210)	168 Rn Radon (222)	169 Fr Francium (223)	170 Ra Radium (226)	171 Ac Actinium (227)	172 Th Thorium (232.04)	173 Pa Protactinium (231)	174 U Uranium (238.03)	175 Np Neptunium (237)	176 Pu Plutonium (244)	177 Am Americium (243)	178 Cm Curium (247)	179 Bk Berkelium (247)	180 Cf Californium (251)	181 Es Einsteinium (252)	182 Fm Fermium (257)	183 Md Mendelevium (258)	184 No Nobelium (259)	185 Lr Lawrencium (260)	186 Uuq Ununquadium (261)	187 Uuh Ununhexium (262)	188 Uuo Ununoctium (263)	189 Uus Ununseptium (264)	190 Uuo Ununoctium (263)	191 Uus Ununseptium (264)	192 Uuo Ununoctium (263)	193 Uus Ununseptium (264)	194 Uuo Ununoctium (263)	195 Uus Ununseptium (264)	196 Uuo Ununoctium (263)	197 Uus Ununseptium (264)	198 Uuo Ununoctium (263)	199 Uus Ununseptium (264)	200 Uuo Ununoctium (263)	201 Uus Ununseptium (264)	202 Uuo Ununoctium (263)	203 Uus Ununseptium (264)	204 Uuo Ununoctium (263)	205 Uus Ununseptium (264)	206 Uuo Ununoctium (263)	207 Uus Ununseptium (264)	208 Uuo Ununoctium (263)	209 Uus Ununseptium (264)	210 Uuo Ununoctium (263)	211 Uus Ununseptium (264)	212 Uuo Ununoctium (263)	213 Uus Ununseptium (264)	214 Uuo Ununoctium (263)	215 Uus Ununseptium (264)	216 Uuo Ununoctium (263)	217 Uus Ununseptium (264)	218 Uuo Ununoctium (263)	219 Uus Ununseptium (264)	220 Uuo Ununoctium (263)	221 Uus Ununseptium (264)	222 Uuo Ununoctium (263)	223 Uus Ununseptium (264)	224 Uuo Ununoctium (263)	225 Uus Ununseptium (264)	226 Uuo Ununoctium (263)	227 Uus Ununseptium (264)	228 Uuo Ununoctium (263)	229 Uus Ununseptium (264)	230 Uuo Ununoctium (263)	231 Uus Ununseptium (264)	232 Uuo Ununoctium (263)	233 Uus Ununseptium (264)	234 Uuo Ununoctium (263)	235 Uus Ununseptium (264)	236 Uuo Ununoctium (263)	237 Uus Ununseptium (264)	238 Uuo Ununoctium (263)	239 Uus Ununseptium (264)	240 Uuo Ununoctium (263)	241 Uus Ununseptium (264)	242 Uuo Ununoctium (263)	243 Uus Ununseptium (264)	244 Uuo Ununoctium (263)	245 Uus Ununseptium (264)	246 Uuo Ununoctium (263)	247 Uus Ununseptium (264)	248 Uuo Ununoctium (263)	249 Uus Ununseptium (264)	250 Uuo Ununoctium (263)	251 Uus Ununseptium (264)	252 Uuo Ununoctium (263)	253 Uus Ununseptium (264)	254 Uuo Ununoctium (263)	255 Uus Ununseptium (264)	256 Uuo Ununoctium (263)	257 Uus Ununseptium (264)	258 Uuo Ununoctium (263)	259 Uus Ununseptium (264)	260 Uuo Ununoctium (263)	261 Uus Ununseptium (264)	262 Uuo Ununoctium (263)	263 Uus Ununseptium (264)	264 Uuo Ununoctium (263)	265 Uus Ununseptium (264)	266 Uuo Ununoctium (263)	267 Uus Ununseptium (264)	268 Uuo Ununoctium (263)	269 Uus Ununseptium (264)	270 Uuo Ununoctium (263)	271 Uus Ununseptium (264)	272 Uuo Ununoctium (263)	273 Uus Ununseptium (264)	274 Uuo Ununoctium (263)	275 Uus Ununseptium (264)	276 Uuo Ununoctium (263)	277 Uus Ununseptium (264)	278 Uuo Ununoctium (263)	279 Uus Ununseptium (264)	280 Uuo Ununoctium (263)	281 Uus Ununseptium (264)	282 Uuo Ununoctium (263)	283 Uus Ununseptium (264)	284 Uuo Ununoctium (263)	285 Uus Ununseptium (264)	286 Uuo Ununoctium (263)	287 Uus Ununseptium (264)	288 Uuo Ununoctium (263)	289 Uus Ununseptium (264)	290 Uuo Ununoctium (263)	291 Uus Ununseptium (264)	292 Uuo Ununoctium (263)	293 Uus Ununseptium (264)	294 Uuo Ununoctium (263)	295 Uus Ununseptium (264)	296 Uuo Ununoctium (263)	297 Uus Ununseptium (264)	298 Uuo Ununoctium (263)	299 Uus Ununseptium (264)	300 Uuo Ununoctium (263)	301 Uus Ununseptium (264)	302 Uuo Ununoctium (263)	303 Uus Ununseptium (264)	304 Uuo Ununoctium (263)	305 Uus Ununseptium (264)	306 Uuo Ununoctium (263)	307 Uus Ununseptium (264)	308 Uuo Ununoctium (263)	309 Uus Ununseptium (264)	310 Uuo Ununoctium (263)	311 Uus Ununseptium (264)	312 Uuo Ununoctium (263)	313 Uus Ununseptium (264)	314 Uuo Ununoctium (263)	315 Uus Ununseptium (264)	316 Uuo Ununoctium (263)	317 Uus Ununseptium (264)	318 Uuo Ununoctium (263)	319 Uus Ununseptium (264)	320 Uuo Ununoctium (263)	321 Uus Ununseptium (264)	322 Uuo Ununoctium (263)	323 Uus Ununseptium (264)	324 Uuo Ununoctium (263)	325 Uus Ununseptium (264)	326 Uuo Ununoctium (263)	327 Uus Ununseptium (264)	328 Uuo Ununoctium (263)	329 Uus Ununseptium (264)	330 Uuo Ununoctium (263)	331 Uus Ununseptium (264)	332 Uuo Ununoctium (263)	333 Uus Ununseptium (264)	334 Uuo Ununoctium (263)	335 Uus Ununseptium (264)	336 Uuo Ununoctium (263)	337 Uus Ununseptium (264)	338 Uuo Ununoctium (263)	339 Uus Ununseptium (264)	340 Uuo Ununoctium (263)	341 Uus Ununseptium (264)	342 Uuo Ununoctium (263)	343 Uus Ununseptium (264)	344 Uuo Ununoctium (263)	345 Uus Ununseptium (264)	346 Uuo Ununoctium (263)	347 Uus Ununseptium (264)	348 Uuo Ununoctium (263)	349 Uus Ununseptium (264)	350 Uuo Ununoctium (263)	351 Uus Ununseptium (264)	352 Uuo Ununoctium (263)	353 Uus Ununseptium (264)	354 Uuo Ununoctium (263)	355 Uus Ununseptium (264)	356 Uuo Ununoctium (263)	357 Uus Ununseptium (264)	358 Uuo Ununoctium (263)	359 Uus Ununseptium (264)	360 Uuo Ununoctium (263)	361 Uus Ununseptium (264)	362 Uuo Ununoctium (263)	363 Uus Ununseptium (264)	364 Uuo Ununoctium (263)	365 Uus Ununseptium (264)	366 Uuo Ununoctium (263)	367 Uus Ununseptium (264)	368 Uuo Ununoctium (263)	369 Uus Ununseptium (264)	370 Uuo Ununoctium (263)	371 Uus Ununseptium (264)	372 Uuo Ununoctium (263)	373 Uus Ununseptium (264)	374 Uuo Ununoctium (263)	375 Uus Ununseptium (264)	376 Uuo Ununoctium (263)	377 Uus Ununseptium (264)	378 Uuo Ununoctium (263)	379 Uus Ununseptium (264)	380 Uuo Ununoctium (263)	381 Uus Ununseptium (264)	382 Uuo Ununoctium (263)	383 Uus Ununseptium (264)	384 Uuo Ununoctium (263)	385 Uus Ununseptium (264)	386 Uuo Ununoctium (263)	387 Uus Ununseptium (264)	388 Uuo Ununoctium (263)	389 Uus Ununseptium (264)	390 Uuo Ununoctium (263)	391 Uus Ununseptium (264)	392 Uuo Ununoctium (263)	393 Uus Ununseptium (264)	394 Uuo Ununoctium (263)	395 Uus Ununseptium (264)	396 Uuo Ununoctium (263)	397 Uus Ununseptium (264)	398 Uuo Ununoctium (263)	399 Uus Ununseptium (264)	400 Uuo Ununoctium (263)	401 Uus Ununseptium (264)	402 Uuo Ununoctium (263)	403 Uus Ununseptium (264)	404 Uuo Ununoctium (263)	405 Uus Ununseptium (264)	406 Uuo Ununoctium (263)	407 Uus Ununseptium (264)	408 Uuo Ununoctium (263)	409 Uus Ununseptium (264)	410 Uuo Ununoctium (263)	411 Uus Ununseptium (264)	412 Uuo Ununoctium (263)	413 Uus Ununseptium (264)	414 Uuo Ununoctium (263)	415 Uus Ununseptium (264)	416 Uuo Ununoctium (263)	417 Uus Ununseptium (264)	418 Uuo Ununoctium (263)	419 Uus Ununseptium (264)	420 Uuo Ununoctium (263)	421 Uus Ununseptium (264)	422 Uuo Ununoctium (263)	423 Uus Ununseptium (264)	424 Uuo Ununoctium (263)	425 Uus Ununseptium (264)	426 Uuo Ununoctium (263)	427 Uus Ununseptium (264)	428 Uuo Ununoctium (263)	429 Uus Ununseptium (264)	430 Uuo Ununoctium (263)	431 Uus Ununseptium (264)	432 Uuo Ununoctium (263)	433 Uus Ununseptium (264)	434 Uuo Ununoctium (263)	435 Uus Ununseptium (264)	436 Uuo Ununoctium (263)	437 Uus Ununseptium (264)	438 Uuo Ununoctium (263)	439 Uus Ununseptium (264)	440 Uuo Ununoctium (263)	441 Uus Ununseptium (264)	442 Uuo Ununoctium (263)	443 Uus Ununseptium (264)	444 Uuo Ununoctium (263)	445 Uus Ununseptium (264)	446 Uuo Ununoctium (263)	447 Uus Ununseptium (264)	448 Uuo Ununoctium (263)	449 Uus Ununseptium (264)	450 Uuo Ununoctium (263)	451 Uus Ununseptium (264)	452 Uuo Ununoctium (263)	453 Uus Ununseptium (264)	454 Uuo Ununoctium (263)	455 Uus Ununseptium (264)	456 Uuo Ununoctium (263)	457 Uus Ununseptium (264)	458 Uuo Ununoctium (263)	459 Uus Ununseptium (264)	460 Uuo Ununoctium (263)	461 Uus Ununseptium (264)	462 Uuo Ununoctium (263)	463 Uus Ununseptium (264)	464 Uuo Ununoctium (263)	465 Uus Ununseptium (264)	466 Uuo Ununoctium (263)	467 Uus Ununseptium (264)	468 Uuo Ununoctium (263)	469 Uus Ununseptium (264)	470 Uuo Ununoctium (263)	471 Uus Ununseptium (264)	472 Uuo Ununoctium (263)	473 Uus Ununseptium (264)	474 Uuo Ununoctium (263)	475 Uus Ununseptium (264)	476 Uuo Ununoctium (263)	477 Uus Ununseptium (264)	478 Uuo Ununoctium (263)	479 Uus Ununseptium (264)	480 Uuo Ununoctium (263)	481 Uus Ununseptium (264)	482 Uuo Ununoctium (263)	483 Uus Ununseptium (264)	484 Uuo Ununoctium (263)	485 Uus Ununseptium (264)	486 Uuo Ununoctium (263)	487 Uus Ununseptium (264)	488 Uuo Ununoctium (263)	489 Uus Ununseptium (264)	490 Uuo Ununoctium (263)	491 Uus Ununseptium (264)	492 Uuo Ununoctium (263)	493 Uus Ununseptium (264)	494 Uuo Ununoctium (263)	495 Uus

BANT ARALIĞI

- Eğer iletim bandı ile değerlik bandı arasındaki enerji en düşük değere $k=0$ 'da sahip ise bu yarıiletkenlere *doğrudan bant aralıklı* (direct bandgap) yarıiletkenler denir (örnek: GaAs).
- Eğer iletim bandı en düşük enerjiye $k \neq 0$ 'da sahip ise bu yarıiletkenlere *dolaylı bant aralıklı* (indirect bandgap) yarıiletkenler denir (örnek: Si, Ge).



Dolaylı Bant aralığı



Doğrudan Bant aralığı

- ***Bir yarıiletkenin direk veya indirek band aralığına sahip olması optik özelliklerini belirler ve u optoelektronik uygulamalar için kullanılıp kullanılmayacağı için en büyük kriterlerden biridir.***



LED MATERYALLERİ, DİREKT VE İNDİRECT BANT ARALIKLARI

- GaAs p-n jonksiyonuna çeşitli takviyelerle geniş bir renk yelpazesi elde edilebilir. GaAs, Si ve Ge gibi direkt bant aralıklı materyaller tercih edilir.
- Direct bant aralıklı materyaller, valans bandının üstü, doğrudan iletim bandının altında yer almaktadır.
- İletim bandındaki e enerjisi;

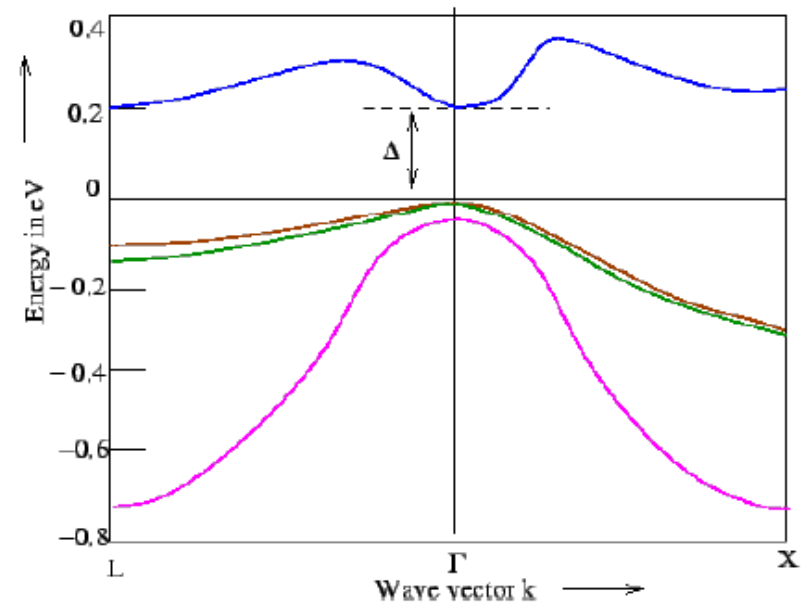
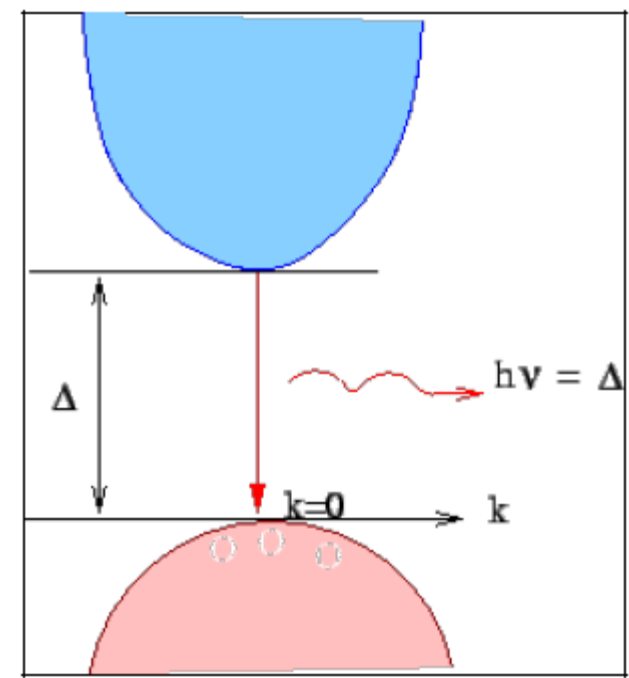
$$E_n = \Delta + \frac{p_n^2}{2m} = \Delta + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_n^*}$$

where $k = 2\pi/\lambda$ is the wave vector. The energy of holes in the valence band is given by

$$E_p = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_h^*}$$

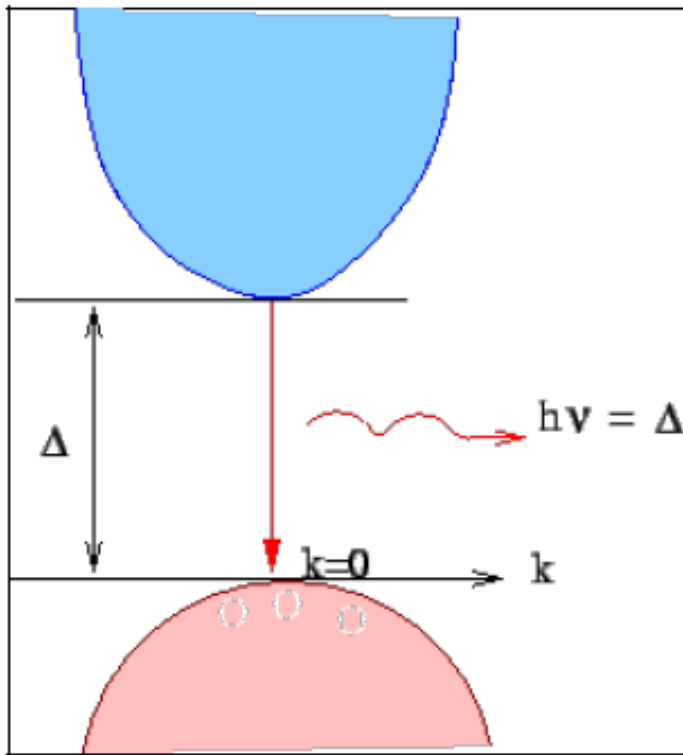


- GaAs bant aralığı 1,42 eV . Şekilde GaAs bant yapısı gösterilmekte.
- Diğer direct bant aralıklı materyaller
ise InP, InSb, ZnSb, ZnSe.



İletkenlik bandındaki e, valans bandındaki hollere indiğinde E-k diyagramındaki dik geçişten dolayı, momentumda değişiklik olmaz.

Bant aralığı enerjisine bağlı olarak e-hole çifti ısı şeklinde(ışınımsız geçiş) ya da ışınlımlı geçiş yapmak üzere



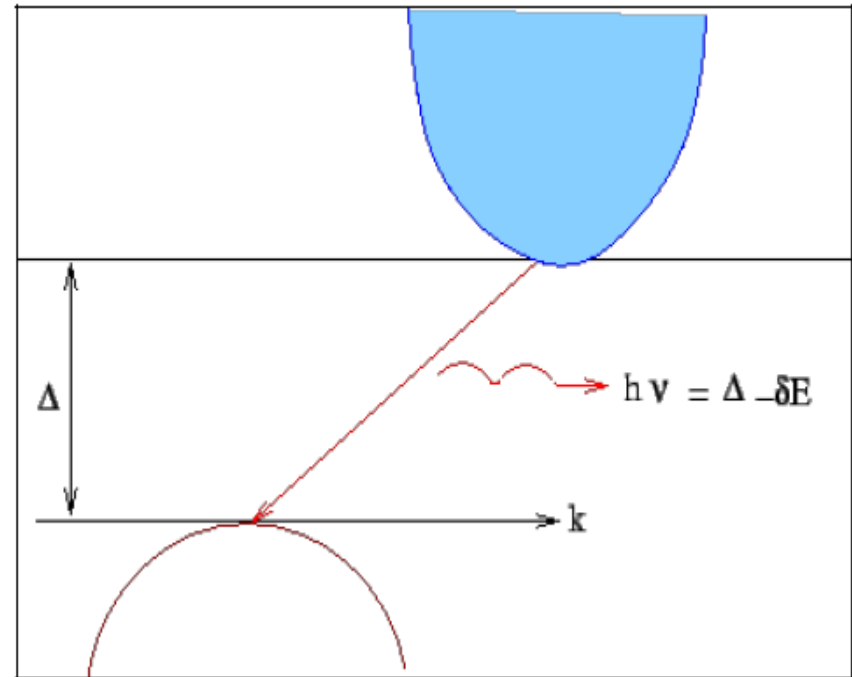
- Yayılan fotonun dalga boyu
İle verilir. Enerji eV olarak verildiğinde
Dalga boyu yaklaşık olarak; $\lambda = hc/E$

$$\lambda \text{ (in nm)} = \frac{1242}{E \text{ (in eV)}}$$

İle verilir.



Değerlik bandının maksimum tepe değeri ile iletkenlik bandının minimum çukur değeri aynı k dalga vektörüne karşılık gelmiyorsa dolaylı geçişler meydana gelir.



Yarıiletken LED teknolojisinde kullanılan bu malzemeler ışık yayma işlemini elektrolüminesans (EL) adı verilen bir sürece uyarak gerçekleştirirler. Elektrolüminesans, bir dış gerilim uygulandığında yarıiletken malzemelerde veya p-n eklem yapıların tüketilmiş (*depletion*) bölgesinde serbest hale gelen elektron ve boşlukların rekombinasyonu ile gerçekleşir.

Işık yayan diyotlarda rekombinasyon iki farklı şekilde meydana gelir;

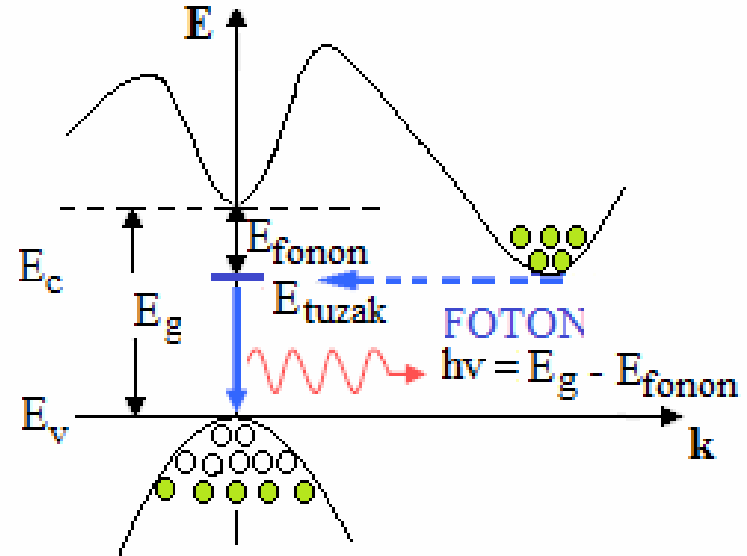
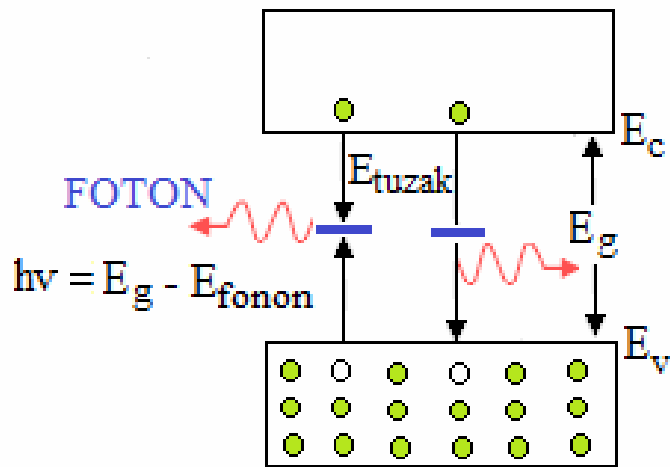
Işımalı (Radyatif) rekombinasyon

**Işımasız (Radyatif Olmayan)
rekombinasyon**



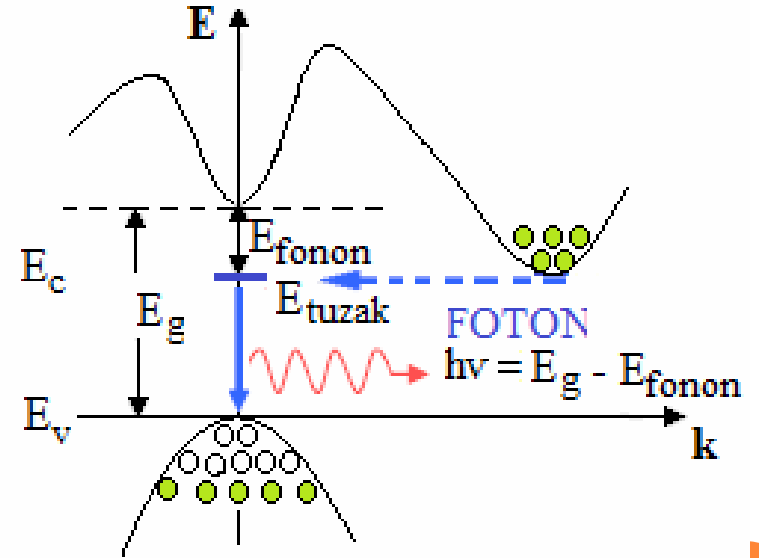
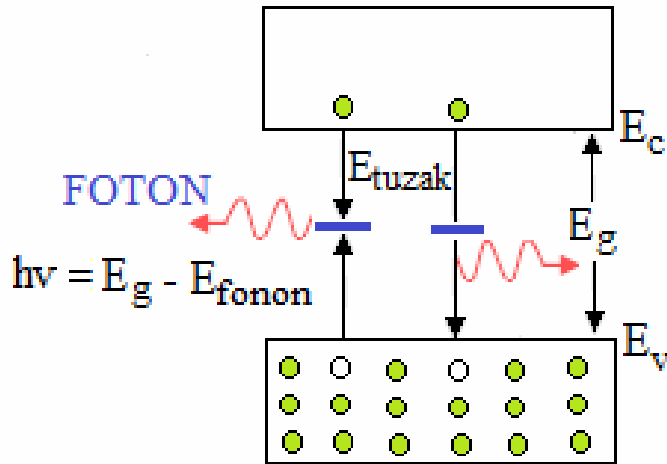
IŞIMASIZ (RADYATIF OLMAYAN) REKOMBINASYON:

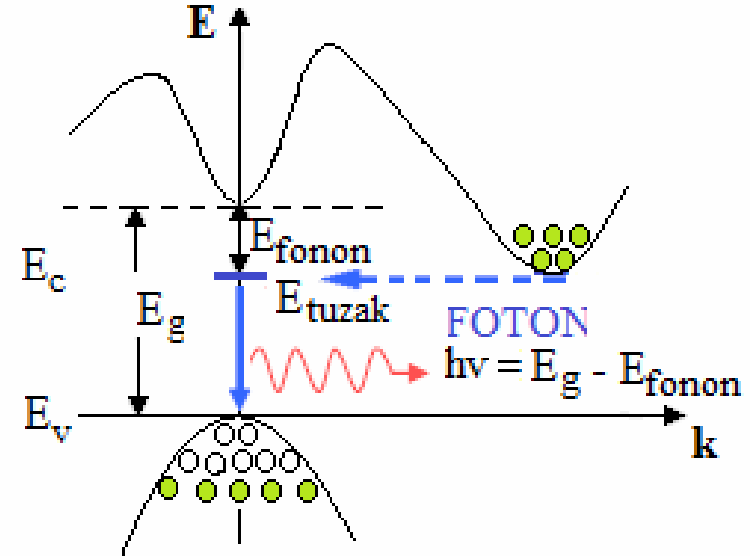
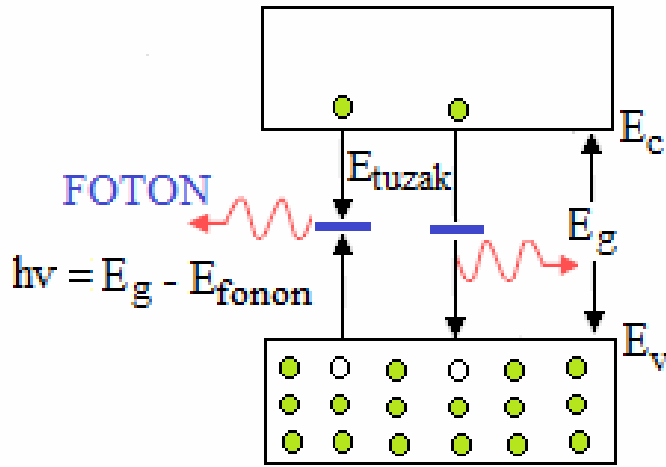
- Bu yeniden birleşme işlemi dolaylı (indirect) bant aralıklı yarıiletken malzemeler için Şekil'de şematik olarak gösterilmiştir.



- Yarıiletken malzemenin elektriksel ve optiksel özelliklerini etkileyen bu dolaylı geçişler, kristal yapı içerisinde bulunan kusurlar tarafından kontrol edilir. Kristal kusurlar, yarıiletken malzemelerin yasak bant aralığı içine dağılmış tuzak enerji seviyeleri (E_{tuzak}) olarak bulunur. Elektronlar iletkenlik bandından değerlik bandına geçerken kusurların tuzak bölgelerindeki enerji seviyelerine doğru sürüklenerek buradaki boşluklarla yeniden birleşebilirler.

11.3.2015





11.3.2015

- Birleşme sırasında enerji ve momentumun korunabilmesi için fononların (örgü titreşimi) enerjisine ve momentumuna ihtiyaç duyulur. Enerjinin korunumu aşağıdaki eşitlik ile sağlanır;

$$\frac{hc}{\lambda} = E_g - E_{fonon}$$



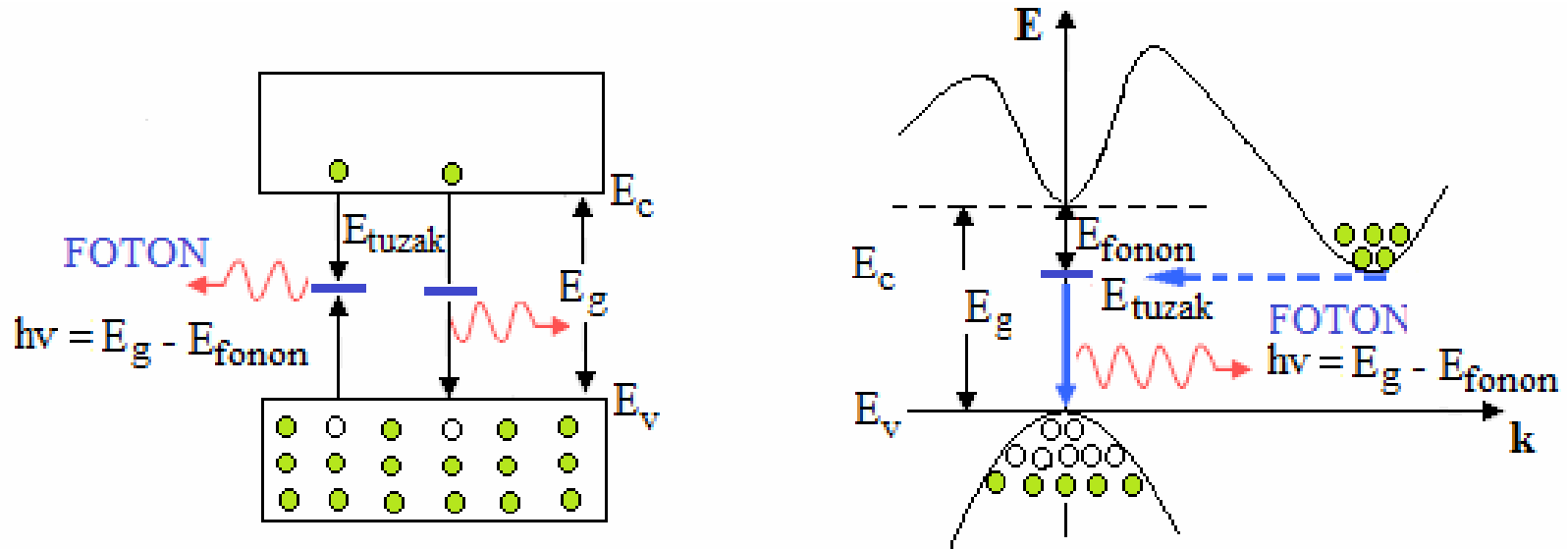
- LED'lerin tüketilmiş bölgesinde kullanılan ve dolaylı bant aralığına sahip bazı malzemelerin yasak enerji bant aralık değerleri Çizelge'de verilmiştir.
- Çizelge 2.2 Dolaylı bant özelliği gösteren malzemeler ve özellikleri (Wilson, 1998)**

Grup	Element	$E_g(\text{eV})$	$\lambda(\text{nm})$
IV	C	5.47	227
	Si	1.12	1106
	Ge	0.67	1880
Grup	Bileşik	$E_g(\text{eV})$	$\lambda(\text{nm})$
IV-IV	SiC	3.00	413

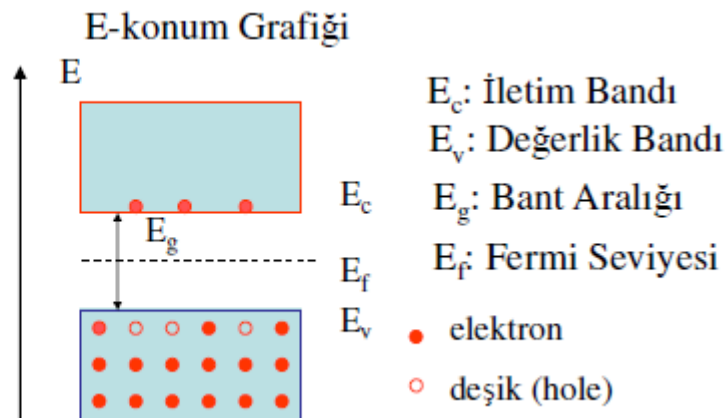
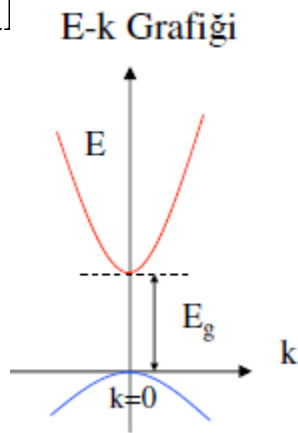
Grup	Bileşik	$E_g(\text{eV})$	$\lambda(\text{nm})$
III-V	AlP	2.45	506
	AlN	5.90	210
	AlSb	1.50	826
	AlAs	2.16	574
	GaP	2.26	549



- Dolaylı bant aralığına sahip malzemelerde oluşan kristal kusurların varlığı serbest elektron sayısının azalmasına, p-n eklem bölgesinde ters besleme doyum akımının önemli oranda artmasına ve yarıiletken devre elemanlarında istenmeyen elektronik gürültülerin oluşmasına sebep olmaktadır.

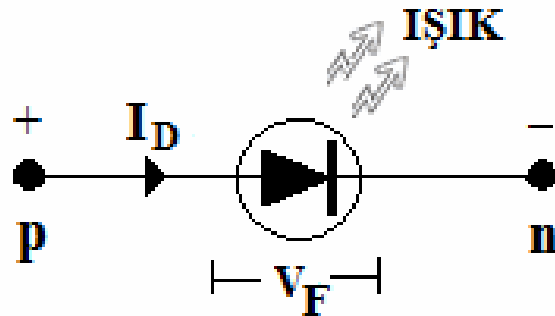


- Ayrıca kusurların varlığı, ışık yayan optoelektronik devre elemanının ışıldama etkinliğini de büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu etkilere bağlı olarak verimli ışık yayan optoelektronik aygıtlarının üretilebilmesi için kristal kusurların en az olması gerektiği söylenebilir. Bu nedenle LED üretiminde genellikle ışıldama etkinliği daha yüksek olan doğrudan bant aralıklı mal

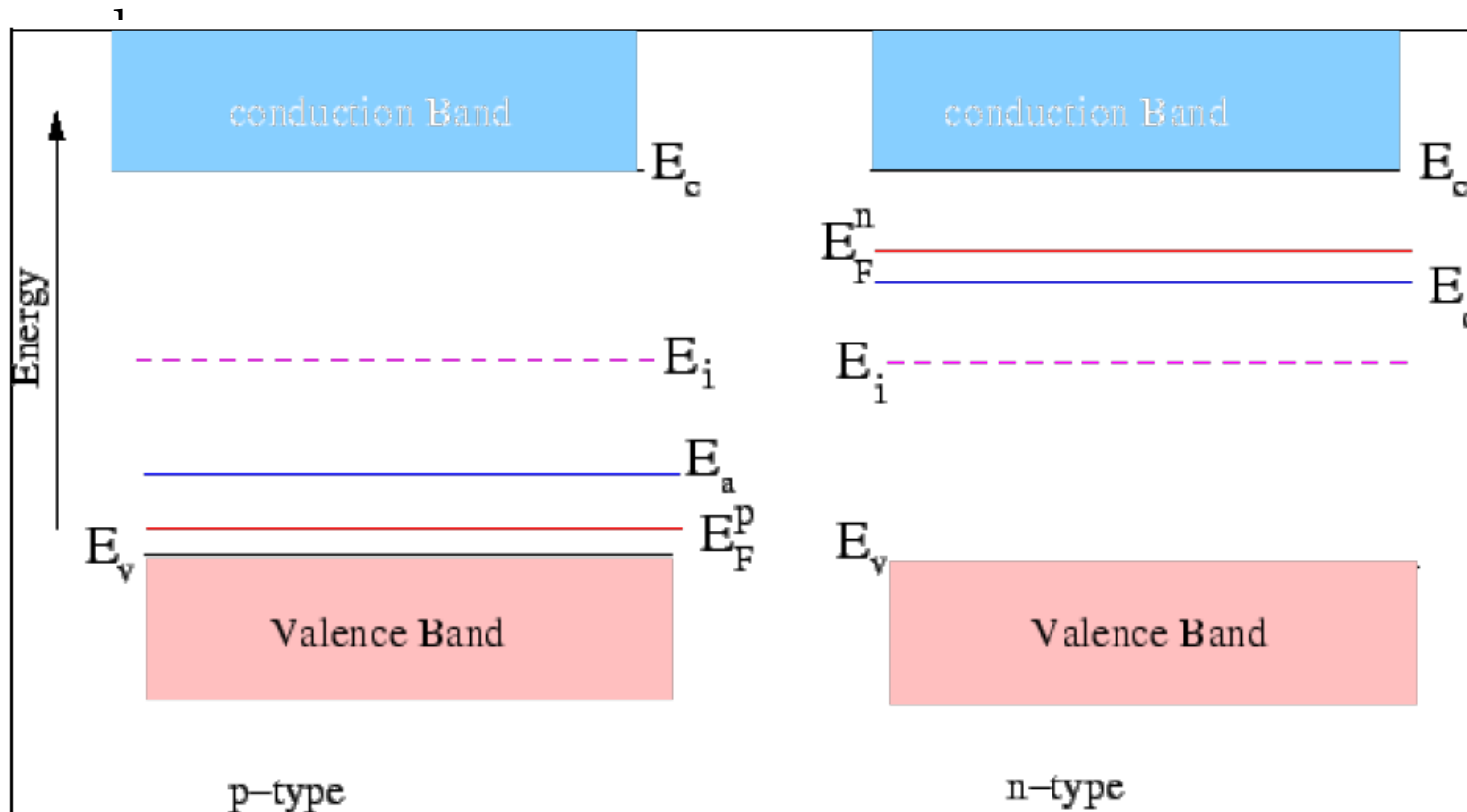


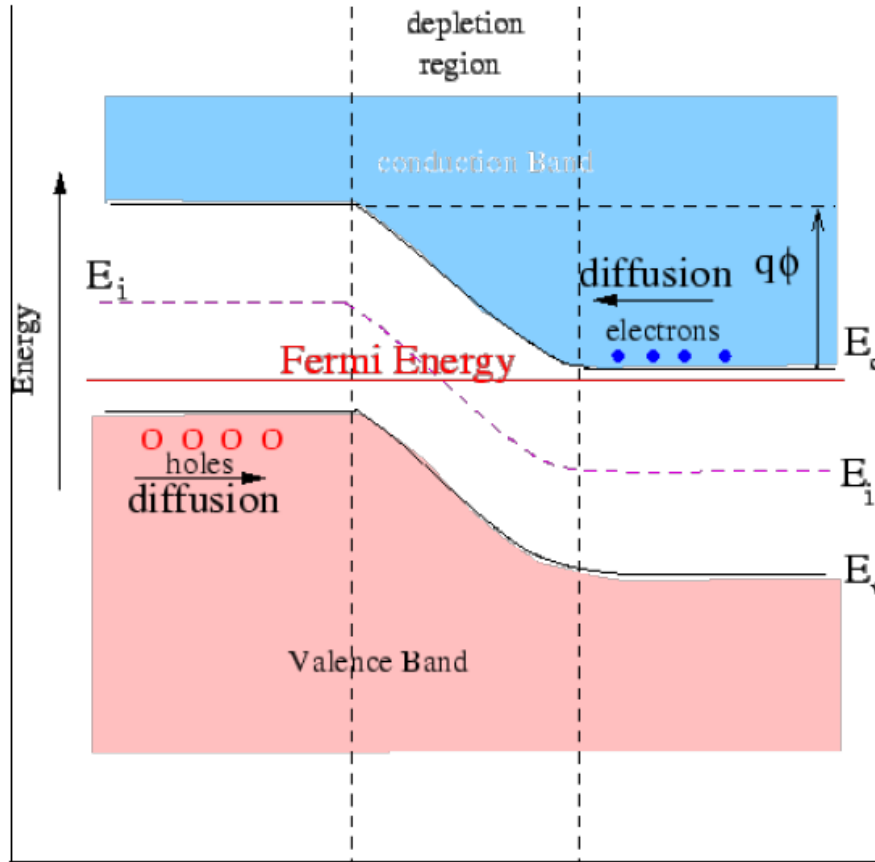
LED'LERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

- Optoelektronik aygıtlar içerisinde kullanılan ışık yayan diyotlar temelde p-tipi (pozitif yük taşıyıcı) ve n-tipi (negatif yük taşıyıcı) yarıiletken malzemelerin yan yana getirilmesi (metalurjik olarak) ile oluşan p-n eklemlidir. P-N eklemlerden oluşmuş LED'lerin sembolü Şekil'de gösterilmiştir. I_D , ileri besleme altında (V_F) diyottan geçen akımı temsil etmektedir.



- Kararlı durumda ($V=0$, $T=\text{sabit}$) bulunan bir p-n eklem diyoda, ileri yönde dış potansiyel fark (forward biased) uygulandığında ($V>0$, $T=\text{sabit}$), enerjice eşit seviyede bulunan fermi enerjileri (p ve n türü yarıiletkenler için tanımlı olan fermi enerji düzeyleri) arasındaki fark eV mertebesinde olacak şekilde birbirlerinden





Jonksiyon p tipi ve n tipi materyalden yapıldığında iki tarafta fermi seviyesi uyumlu değildir. Ve bantta bükülme gerçekleşir. Çünkü dengeli bir sistem için fermi seviyesi uniform olmalıdır.

N tarafının iletkenlik bandının altı, p tarafından daha altta yer almaktadır. Bu da net difüzyonu önler.

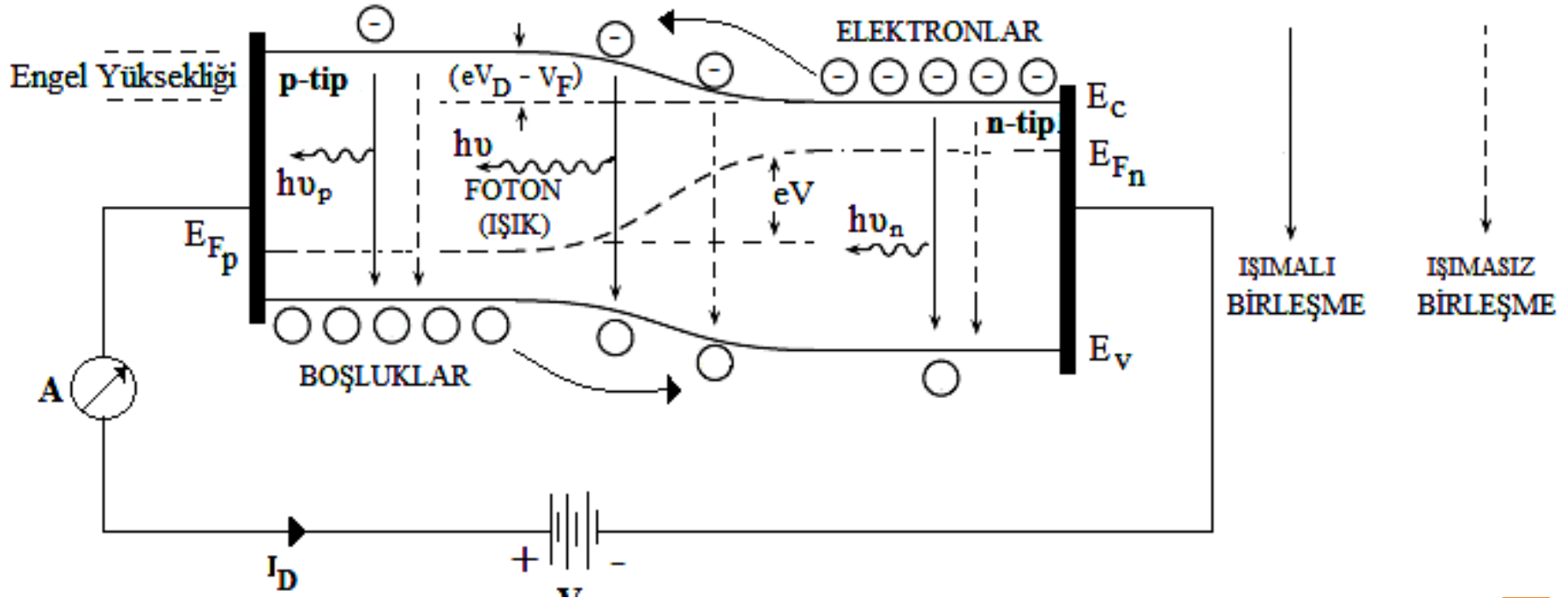


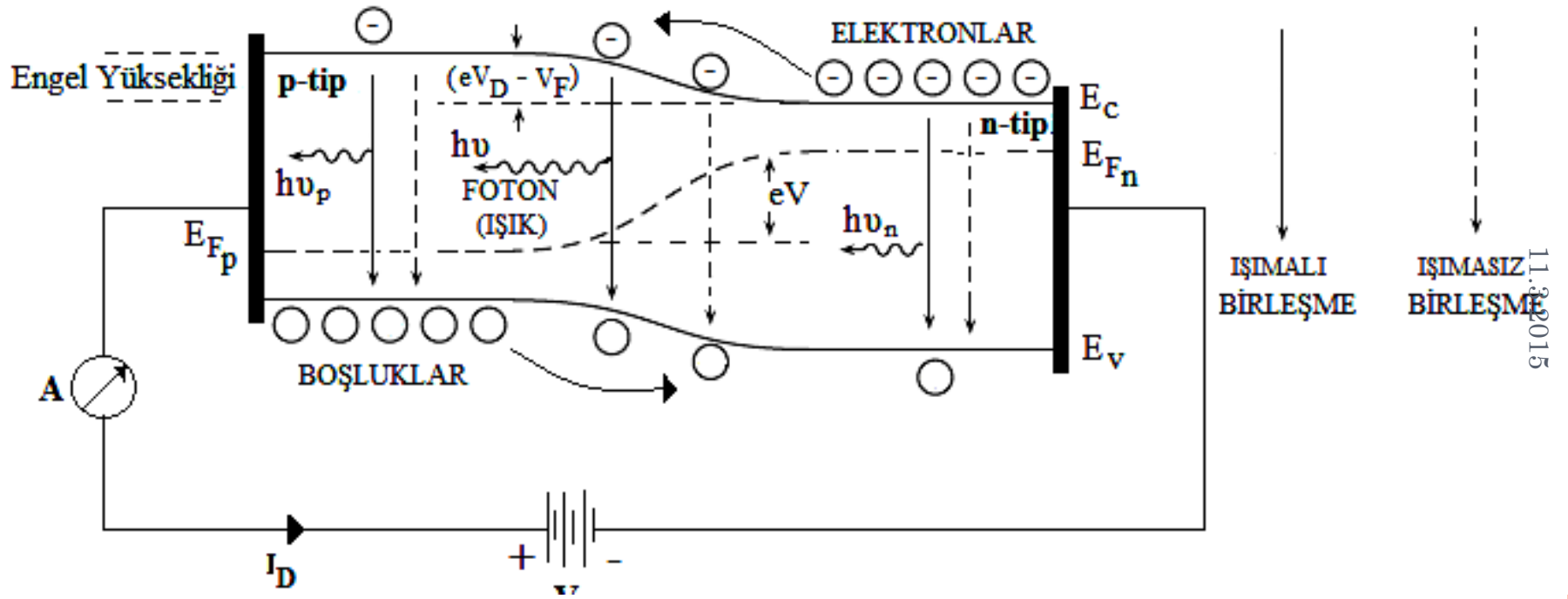


- 

Aynı anda p-tipi yarıiletkenin değerlik bandı üzerinde bulunan boşluklar ise n-tipi yarıiletkenin değerlik bandına doğru geçiş yaparlar. N-tipi yarıiletkenin değerlik bandına geçen boşluklar, azınlık yük taşıyıcıları olarak görev yapar. Bu

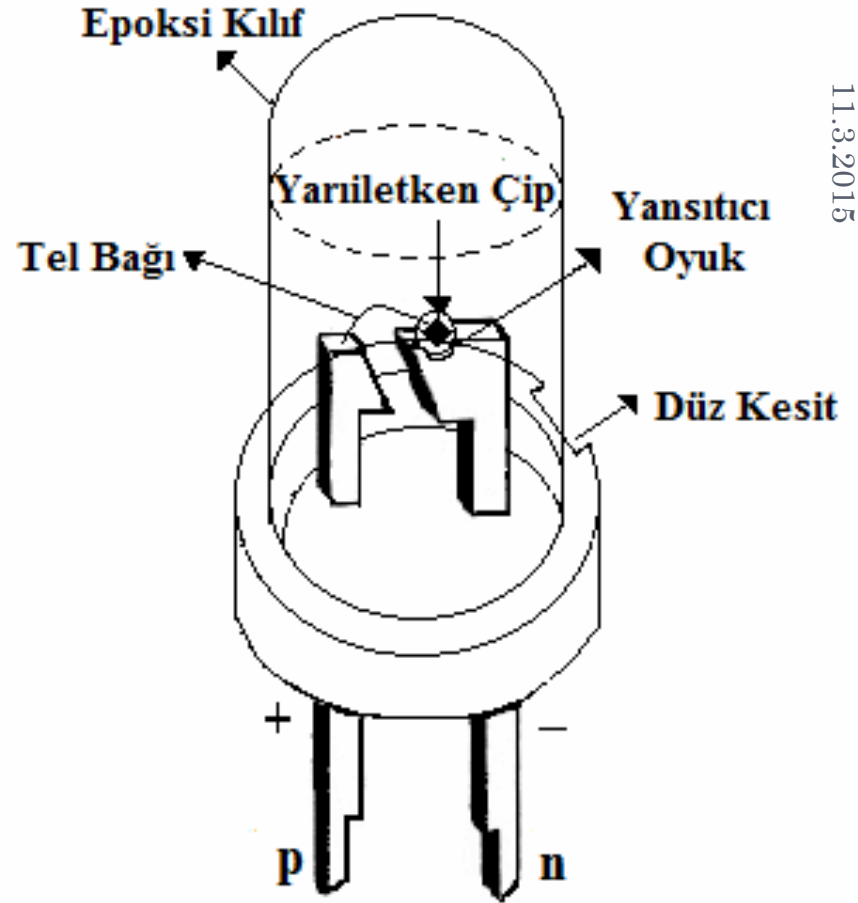
durum '*azınlık yük taşıyıcı enjeksiyonu*' olarak tanımlanır

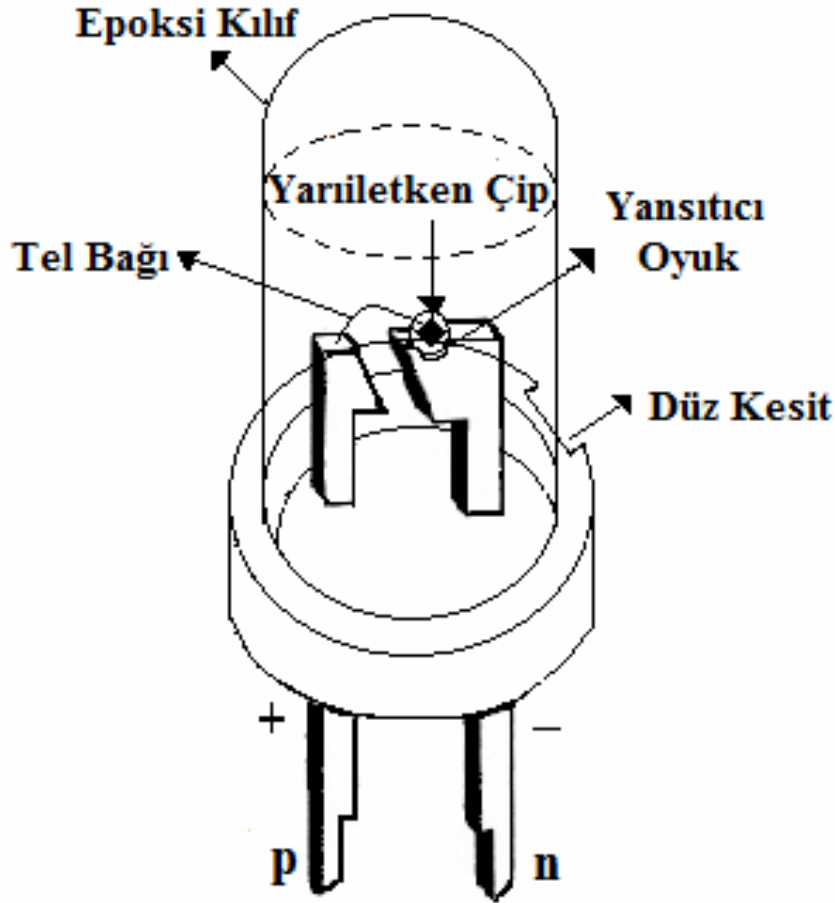




Fazlalık azınlık yük taşıyıcıları genellikle tüketilmiş bölge içerisinde çoğunluk yükler ile yeniden birleşirler. İdealde bir ışık yayan diyotta her enjeksiyon elektronu bir optiksel radyasyon (ışınım) yayıcı rekombinasyon işleminde yer alır ve böylece tüketilmiş bölgede foton yayımlanmasına neden olur (Şekil 2.4). Elektrolüminesans süreç sonunda yayımlanan bu foton, eV mertebesinde enerjili olarak dışarıya salınır.

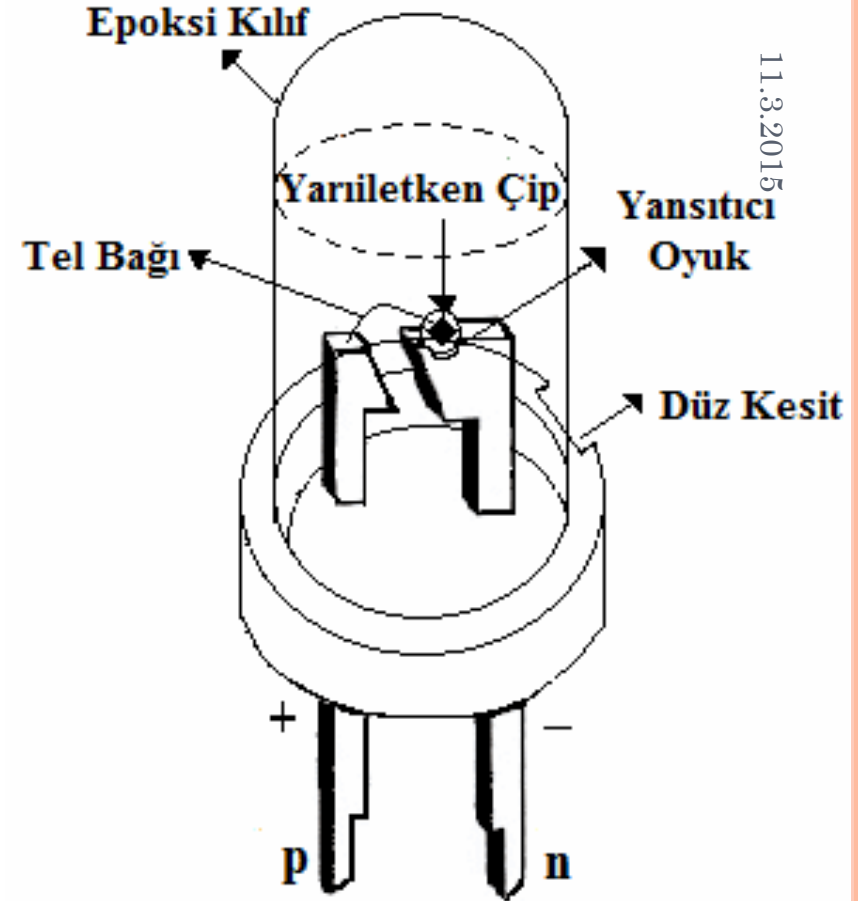
- LED'ler kırılması ve zarar görmesi neredeyse imkansız olan optik mercekli epoksi kılıflar içerisine yerleştirilir. Işığın dışarıya daha yüksek verimle ulaştırılabilmesi için LED'in kalıbı genellikle küresel yapıdadır. Böylece ışığın yüzeye dik gelmesi ve hiç kırılmadan geçmesi sağlanır.





- LED'in alt kısımlarında görüleceği üzere 2 tane bacak bulunur. Kısa bacağı n-ucu, uzun bacağı ise p-ucu olarak isimlendirilir. Eğer LED'in bacakları aynı ise, şeffaf kılıf içinde bulunan plakalara bakarak, dar yüzeye sahip olan tarafa p-ucu, daha geniş bir yüzeye sahip olan tarafa ise n-ucu denilenebilir.

- n-ucunun olduğu plakada yansıtıcı kovuk içinde bir yarıiletken çip bulunur. LED çipi noktasal bir ışık kaynağıdır ve kılıf içine yerleştirilmiş yansıtıcı eleman sayesinde ışığın belirli bir yöne doğru yayılmasını sağlar.
- İletkenliğin sağlanabilmesi için yarıiletken çipi p-ucunun olduğu plakaya bir tel bağı ile bağlanması gerekir.



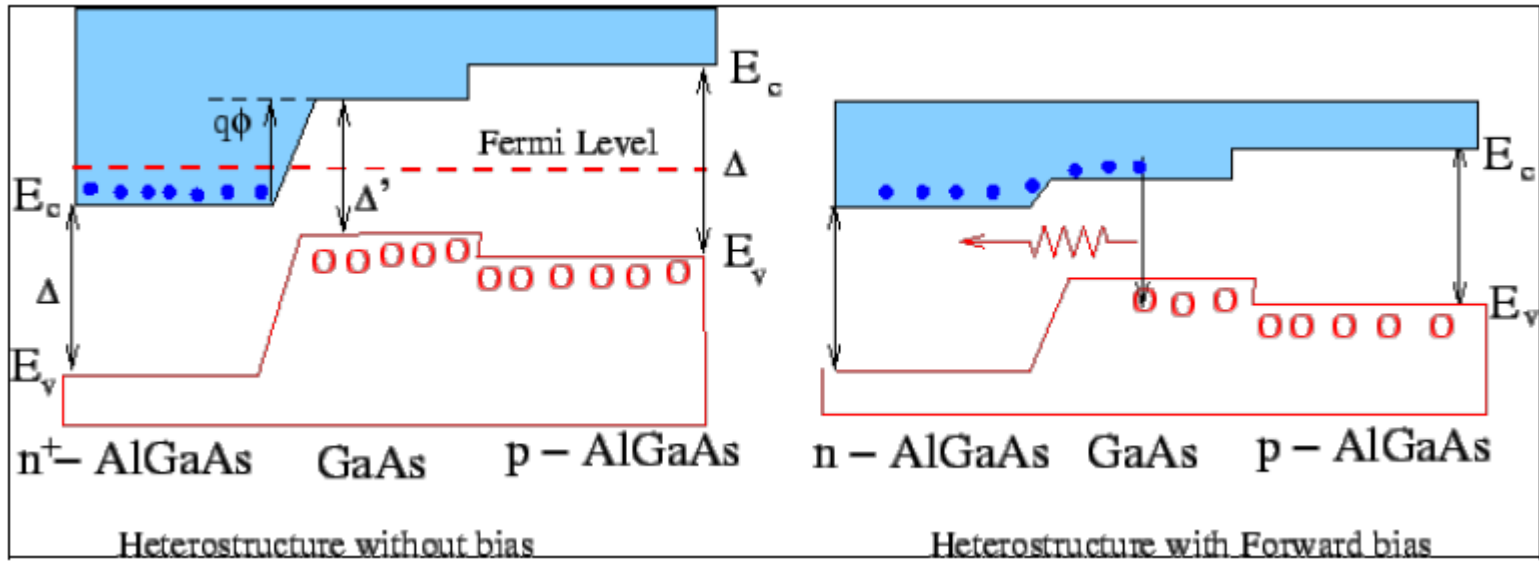
LED ÇİPI VE YAPISAL ÖZELLİKLERİ

- Işık yayma özelliğine sahip LED çipleri üretiminde genellikle birden fazla yarıiletken malzemedен oluşmuş çoklu heteroeklem (farklı türdeki yarıiletkenler ile yapılan eklemler) katmanlı yapılar tercih edilir.
- Kuantum kuyularının oluşmasını sağlayan çoklu heteroeklem yapılar, elektron ve boşlukların iki boyutta serbest olarak hareket edebildiği düşük boyutlu yarıiletken malzemelerden oluşur. Düşük boyutlu sistemlerde kuantum kuyusunun genişliği elektronların de Broglie dalga boyu mertebesinde olduğu için yapı içerisinde kuantum etkileri görülür



- 11-3-2015



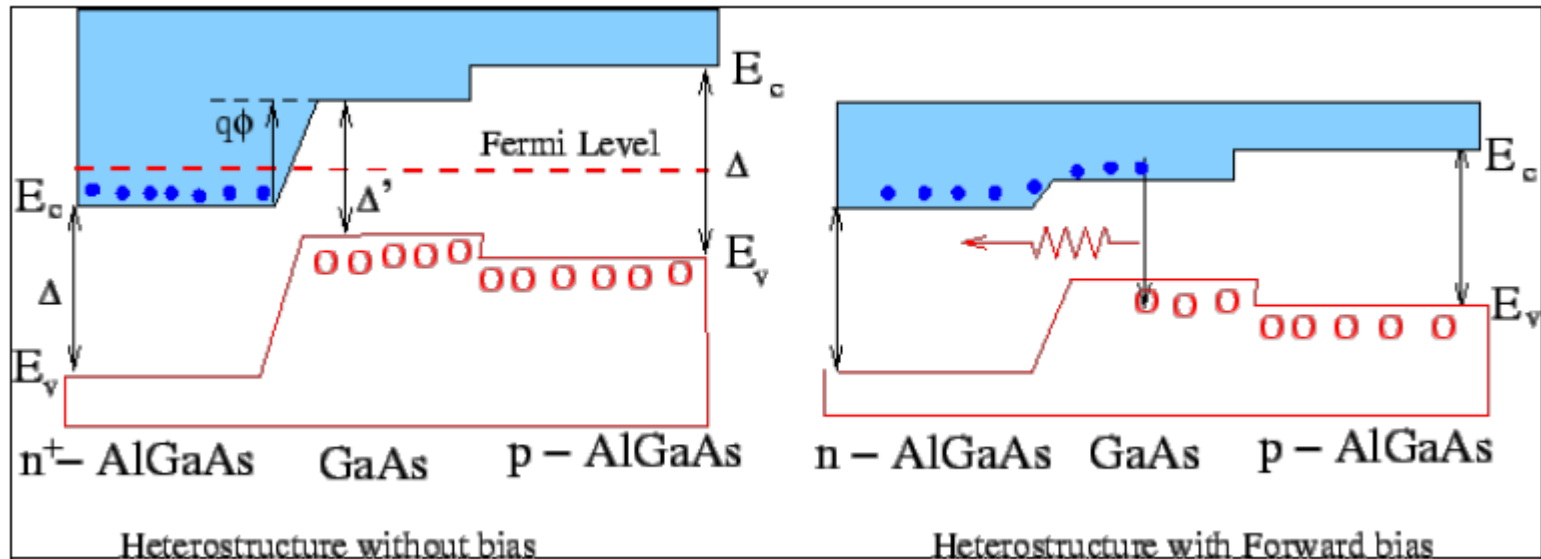


Şekide heteroyapı gösterilmekte, düşük katkılı p tipi AlGaAs, n tipinde yüksek katkılı AlGaAs ve arasına GaAs sıkıştırılır.

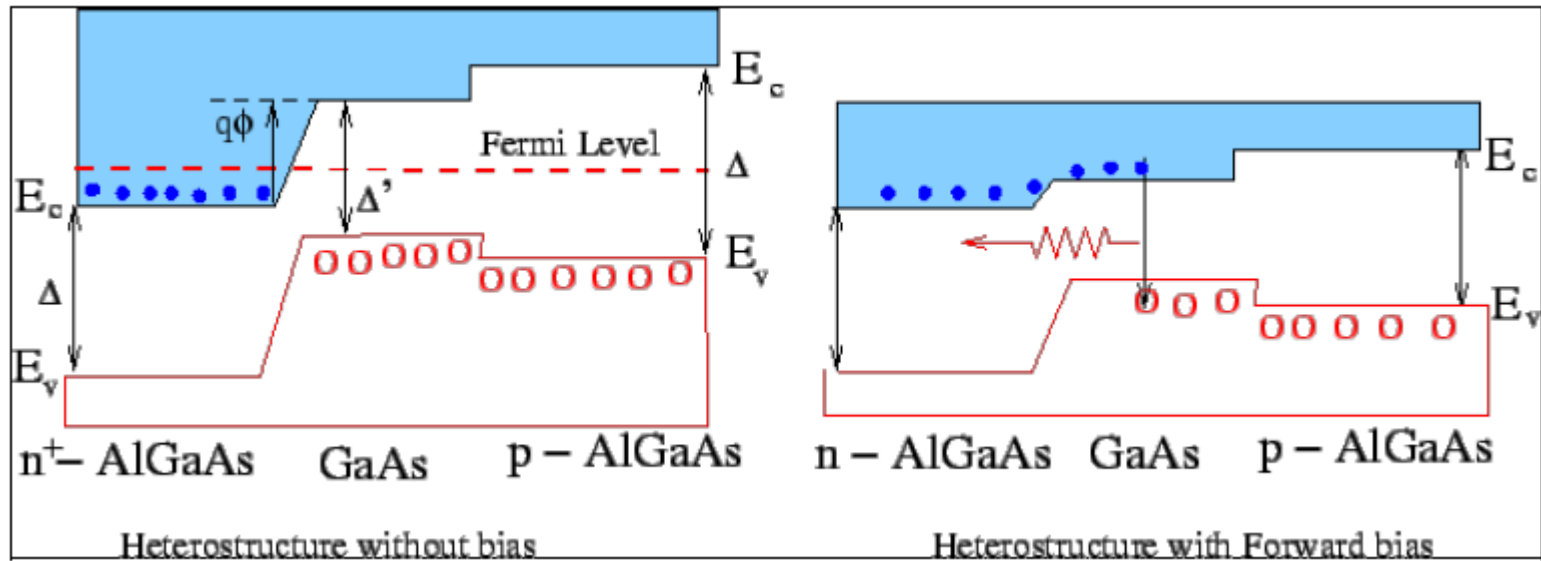
- AlGaAs bant aralığı 1,92 eV iken, GaAs bant aralığı 1,42 eV
- Bu nedenle GaAs tabakasının solunda e potansiyel bariyer bulunur. Bunun yokluğunda Fermi enerjisi uniformdur.



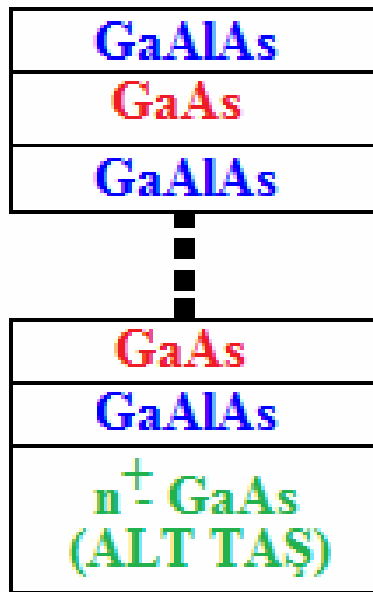
- Doğru gerilim uygulandığında jonksiyonun iki tarafında bariyer yüksekliği azalır.
- Sol kanattan gelen elektronlar yüksekliği azaltılmış bariyere tırmanmaya ve GaAs tabakasına girebilir.
- Sağa doğru gittiklerinde başka bir potansiyel bariyerle karşılaşarak, ilerleme sınırlandırılır.



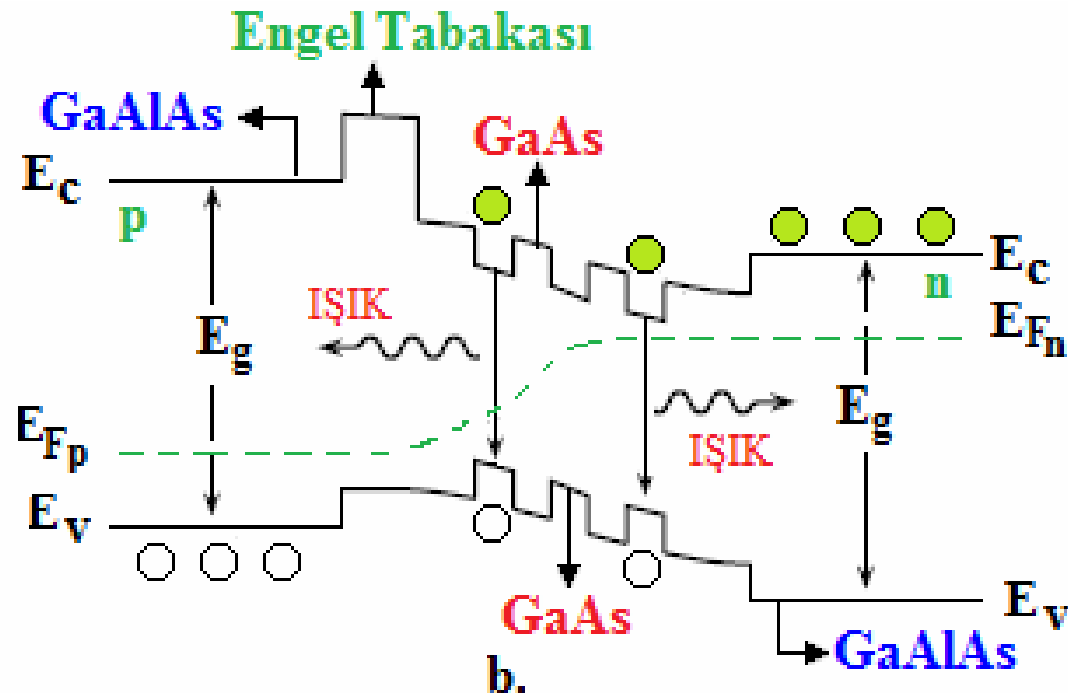
- Deliklerle e birleşerek radyasyon yayarlar ve yayılan fotonlardan hiçbiri malzeme tarafından emilmez ve led daha fazla ışık yayar.



- Kuantum etkileri yük taşıyıcılarını düşük potansiyel kuyu içinde hapsederek elektron-boşluk çiftlerinin verimli bir şekilde birleşmesini başka bir ifade ile yayınlanan ışığın kuantum veriminin artmasını sağlar.



a.



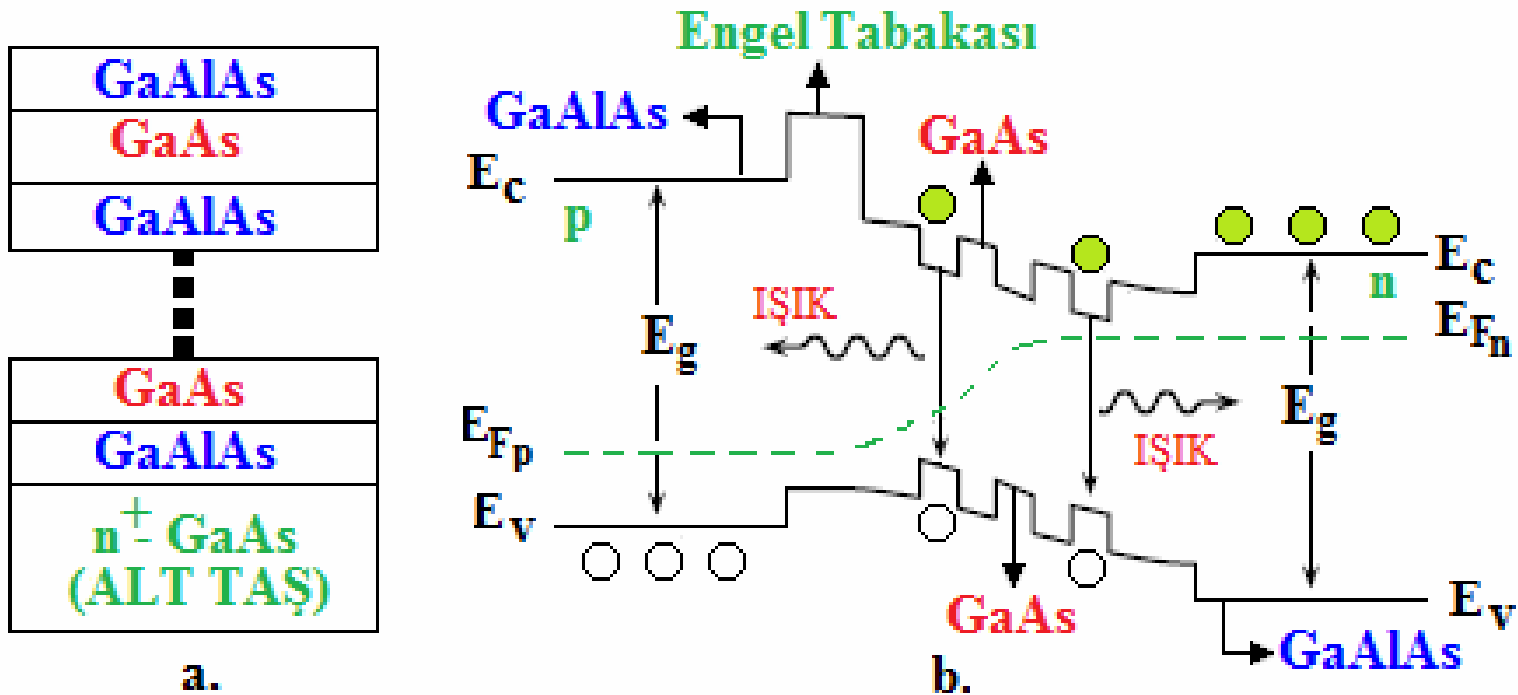
b.

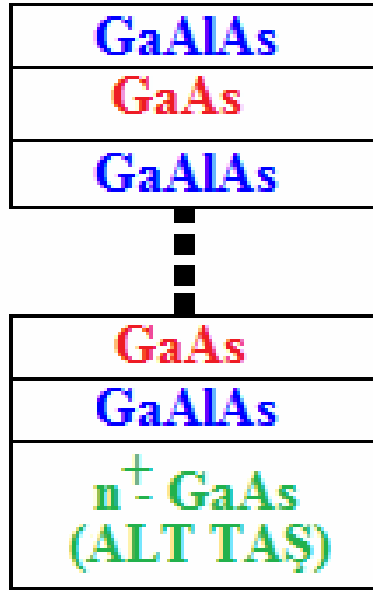


- Düşük boyutlu yarıiletken yapılar, büyütülen katman sayısına, katman kalınlığına ve büyütülen yarıiletken malzemelerin özelliklerine göre tekli/çoklu kuantum kuyuları olarak adlandırılırlar. Tekli kuantum kuyusu (SQW) yapılarının ard arda büyütülmesi ile çoklu kuantum kuyusu (MQW) yapıları elde edilmektedir

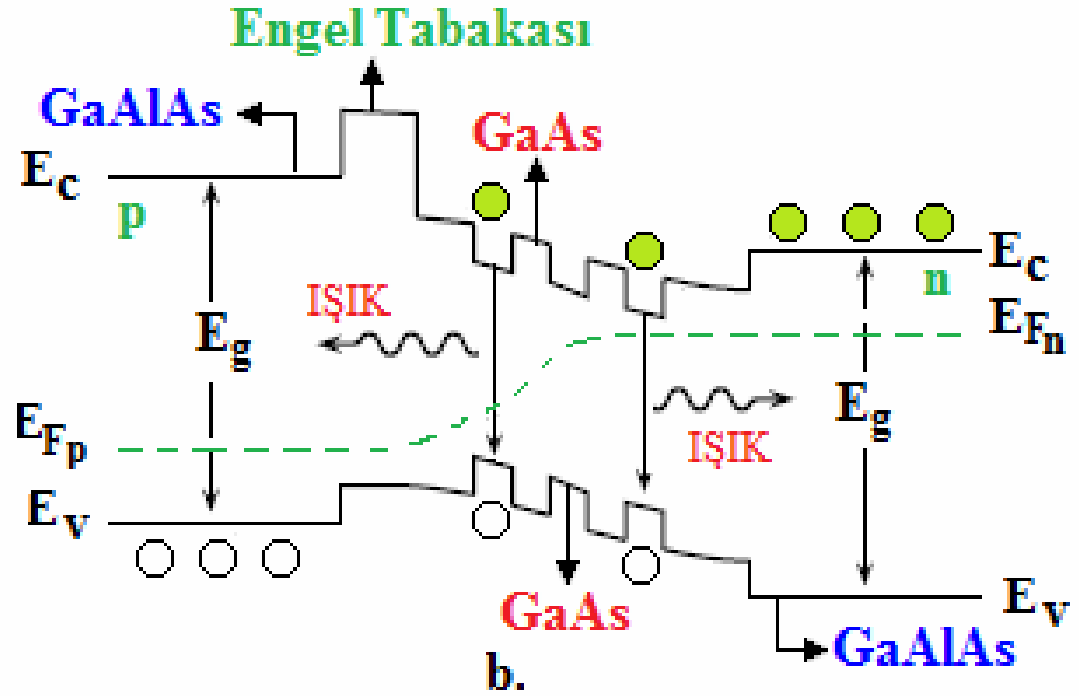


- Aşağıda düşük boyutlu yapılar içerisinde üzerinde en çok araştırma yapılmış olan GaAs ve $\text{Ga}_{x}\text{Al}_{1-x}\text{As}$ yarıiletken malzemelerin ($V>0$ durumunda) kuantum kuyusu örnek olarak gösterilmiştir.





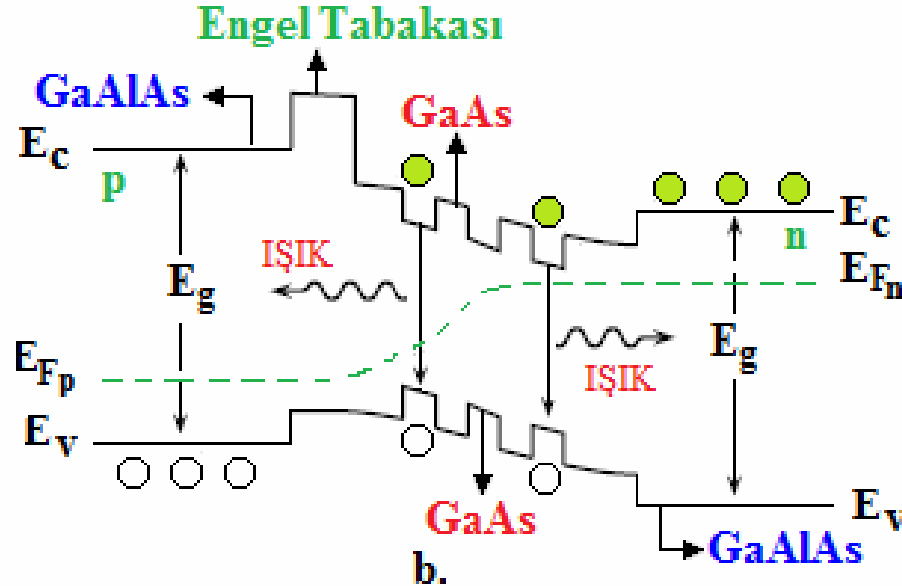
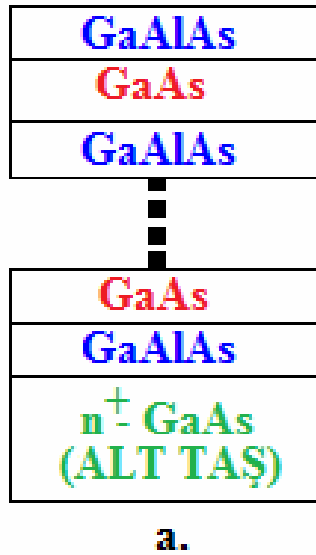
a.



b.

- MQW yapısındaki bir LED için GaAs katmanındaki elektronların hareketleri Şekilde görüldüğü gibi sonlu bir kuantum kuyusunda sınırlandırılmıştır. İletkenlik bandının kenarları elektronlar için, değerlik bandının kenarları da boşluklar için bir potansiyel kuyusu oluşturmaktadır.

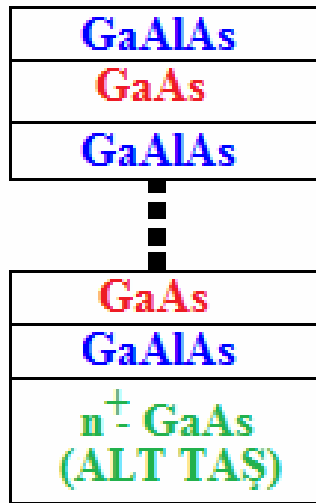
- GaAs'ın bant aralığı $Ga_{x}Al_{1-x}As$ 'ın bant aralığından daha küçüktür. Bu nedenle GaAs bir kuantum kuyusu gibi davranırken, $Ga_{x}Al_{1-x}As$ elektron ile boşlukların her ikisi içinde bir potansiyel engeli oluşur.



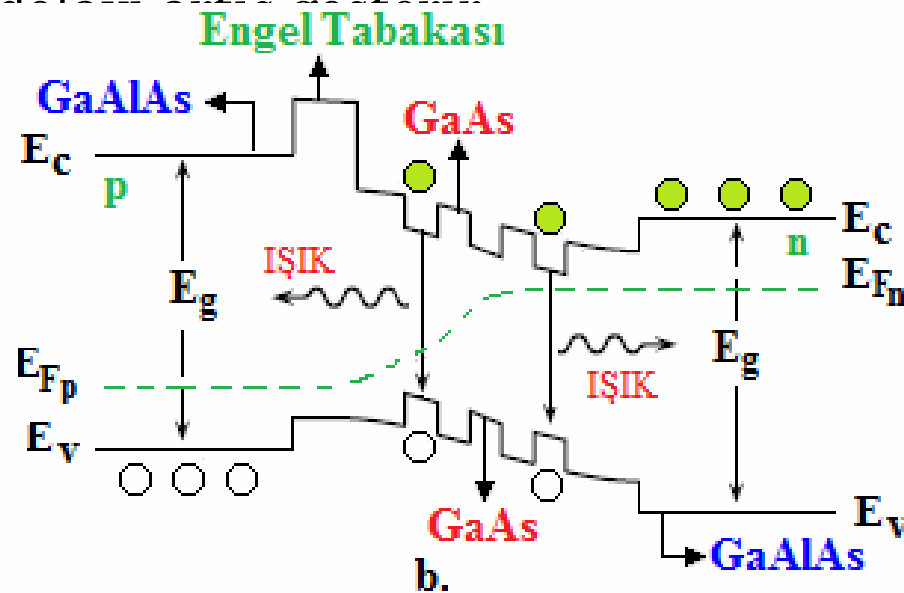
- GaAs ve $Ga_{x}Al_{1-x}As$ yarıiletkenlerinin bant yapılarındaki bu farklılıktan dolayı, sistemin enerji bant diyagramında iletkenlik ve değerlik bandı kenarları arasındaki geçiş bölgesinde basamak şeklinde süreksizlikler oluşmaktadır.



- MQW yapıda ardışık iki kuantum kuyu arasında engel tabakası vardır. Bu tabaka yeterince kalın tutularak komşu kuantum kuyulardaki elektron dalga fonksiyonlarının örtüşmesi engellenir. Böylelikle ısıldama etkinliği, elektronların kuantum kuyusunda hapsedilmesiyle artırılır.



a.



b.





Örnek bir LED çipinin iç yapısı Şekil 2.7’de verilmiştir. LED çipi birkaç mm²’lik taban alanına sahip olup, çeşitli yarıiletken katmanlardan oluşacak şekilde tasarlanır.

En alt katmanda LED’i desteklemek için alttaş (substrate) yani yalıtkan bir malzeme bulunur.

Onun üst kısmında kontak gibi davranan n-tipi katkılı yarıiletken malzeme, iletim katmanların hemen üstünde ise p-tipi katkılı yarıiletken malzeme bulunur.

Bu katmanların arasında n-tipi malzemeden gelen elektronların p-tipi malzemelerde bulunan boşluklar ile birleşimini sağlayan yayıcı katmanlar mevcuttur.



- LED çiplerinin katmanları arasında farklı yarıiletken malzeme kullanıldığı için elektronlar ve fotonlar tüketilmiş bölgede hapsedilerek LED'in ısıldama etkinliği arttırılabilir.
- Ayrıca yapay yarıiletken malzemelerin stikoyometrik (elementer karışım oranları) değerleri değiştirilerek, LED üretimine uygun olarak elde edilen yapay yarıiletken malzemelerin yasak enerji bant aralığı arzu edilen değerlere getirilebilir. Bu sayede yayınlanacak ışığın frekansı da ayarlanmış olur.

- LED çipi içerisinde ışığın daha az optik kayıba uğrayarak yayımlanabilmesi için malzemenin kalınlığı mikrometre (μm) mertebesinde olmalıdır.
- LED'e bir gerilim kaynağı yardımıyla belirli bir eşik gerilimin ($V_{\text{threshold}}$) üstünde ileri yönde bir gerilim (potansiyel fark) yada akım ($I_{\text{threshold}}$) uygulanırsa, elektron-boşluk çiftleri yayıcı ve iletim katmanları arasındaki sınırdaki birleşerek ara yüzeyde bir foton (ışık) şeklinde enerji salınımına neden olurlar.



- LED içinde gerçekleşen bu optiksel sürece kendiliğinden yayınım (*spontaneous emission*) adı verilir. Bu süreçte yayılan fotonun enerjisi, ara yüzeydeki tüketilmiş bölgenin içinde bulunan yarıiletken malzemenin yasak enerji aralığı veya elektronik özelliklerine bağlı olarak değişebilir.
- Salınan fotonların frekansı büyük oranda sabit, dolayısıyla oluşan ışık da tek renklidir.

