عناوین

۱- مقدمه

۲- پیوند و ساختار بلوری

۳- ساختار نواری

۴- چگالی حاملها، نیمه رساناهای ذاتی

۵- حالت های ناخالصی

۶- آمار نیمه رساناها

۷- رسانایی الکتریکی، تحرک

۸- آثار میدان مغناطیسی: تشدید سیکلوترونی و اثر هال

۹- ساختار نواری نیمه رساناهای واقعی

Periodic Table of the Elements

Atomic Number	6
Symbol	C
Name	Carbon
Average Atomic Mass	12.0107

Hydrogen
Semiconductors (also known as metalloids)

Metals
- Alkali metals
- Alkaline earth metals
- Transition metals
- Other metals

Nonmetals
- Halogens
- Noble gases
- Other nonmetals

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6	Group 7	Group 8	Group 9	Group 10	Group 11	Group 12	Group 13	Group 14	Group 15	Group 16	Group 17	Group 18
1	1 H Hydrogen 1.007 94																	2 He Helium 4.002 60
2	3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012 182											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.0107	7 N Nitrogen 14.0067	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.998 4032	10 Ne Neon 20.1797
3	11 Na Sodium 22.989 769 28	12 Mg Magnesium 24.3050											13 Al Aluminum 26.981 5386	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973 762	16 S Sulfur 32.065	17 Cl Chlorine 35.453	18 Ar Argon 39.948
4	19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955 912	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938 045	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933 195	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.409	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.921 60	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.798
5	37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.905 85	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906 38	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.905 50	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.60	53 I Iodine 126.904 47	54 Xe Xenon 131.293
6	55 Cs Cesium 132.905 4519	56 Ba Barium 137.327	57 La Lanthanum 138.905 47	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.947 88	74 W Tungsten 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platinum 195.084	79 Au Gold 196.966 569	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980 40	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
7	87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac Actinium (227)	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (277)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub* Ununbium (285)		114 Uuq* Ununquadium (289)		116 Uuh* Ununhexium (292)		

- The systematic names and symbols for elements greater than 111 will be used until the approval of trivial names by the IUPAC.

The discoveries of elements with atomic numbers 112, 114, and 116 have been reported but not fully confirmed.

58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.907 65	60 Nd Neodymium 144.242	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925 35	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.930 32	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.934 21	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967
90 Th Thorium 232.038 06	91 Pa Protactinium 231.035 88	92 U Uranium 238.028 91	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 (262)

The atomic masses listed in this table reflect the precision of current measurements. (Each value listed in parentheses is the mass number of that radioactive element's most stable or most common isotope.)

حالت های ناخالصی

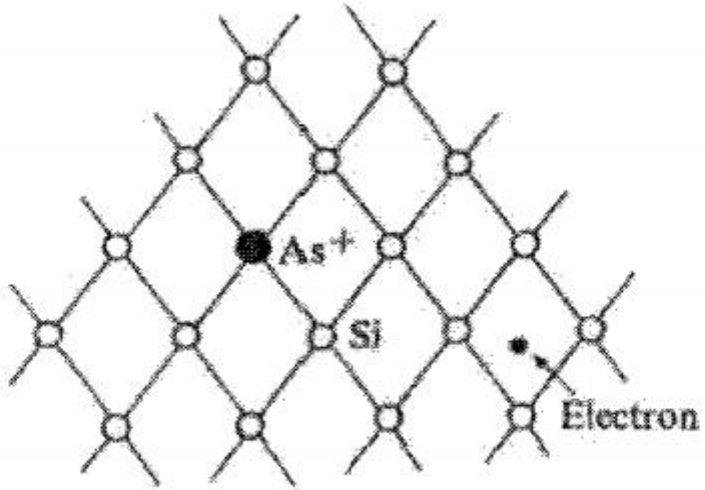
یک نیمه‌رسانای خالص به تعداد مساوی از هر دو نوع حامل یعنی الکترون و حفره دارد. ولی در اغلب کاربردها نمونه‌هایی نیاز است که فقط دارای یک نوع حامل باشند و از نوع دیگر هیچ نداشته باشند. (این را در فصل۷، هنگامی که مثلاً ترانزیستور پیوندی[۳] مورد بحث قرار می‌گیرد، ملاحظه خواهیم کرد). با آلائیدن نیمه‌رسانا به ناخالصی‌های مناسب، می‌توان نمونه‌هایی به دست آورد که فقط شامل الکترون یا حفره باشد.

اتمهای بخشنده

نمونه‌ای از Si که با As آلائیده شده است را در نظر بگیرید. اتم‌های As (ناخالصی‌ها) بعضی از جای گاه‌های شبکه را که قبلاً توسط اتم میزبان Si اشغال شده بود را اشغال می‌کنند. توزیع ناخالصی‌ها درون نمونه در تمام شبکه کاتوره‌ای است. ولی حضور آن ها از یک جنبه‌ی خیلی مهم بر خواص فیزیکی جسم جامد اثر می‌گذارد: اتم As پنج ظرفیتی است (در حالی که Si چهار ظرفیتی است). همان‌گونه که در شکل۷-۶ نشان داده شده است، از پنج الکترون As چهارتای

[۳] 3. Junction Transistor

آن‌ها در پیوند چهار وجهی Si شرکت می‌کنند. الکترون پنجم نمی‌تواند در پیوند ـ که حالا اشباع شده است ـ شرکت کند. بنابراین این الکترون از ناخالصی جدا می‌شود و آزاد است که به عنوان الکترون رسانش در تمام شبکه حرکت کند. یعنی در نوار رسانش وارد می‌شود. حالا ناخالصی یک یون مثبت As^+ است (زیرا یک الکترون خود را از دست داده است)، و تمایل دارد که یک الکترون آزاد را به دام اندازد. ولی به زودی نشان می‌دهیم که نیروی جاذبه‌ی As^+ خیلی ضعیف است و کافی نیست که بتواند الکترونی را به دام اندازد.

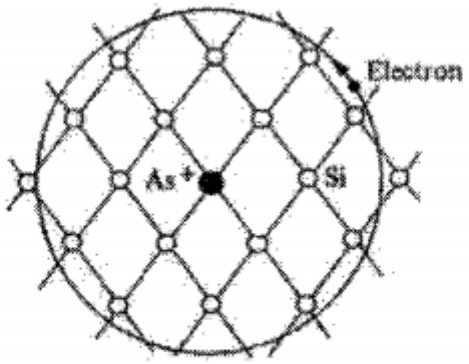


شکل ۷-۶ یک ناخالصی As در یک بلور Si . الکترون اضافی درون بلور حرکت می‌کند.

نتیجه فرآیند فوق این است که ناخالصی‌های As در دادن الکترون‌ها به نوار رسانش سهیم می‌شود. به این دلیل این ناخالصی‌های *بخشنده* نامیده می‌شوند توجه کنید که الکترون‌ها، بدون ایجاد حفره‌ها تولید شده‌اند. هنگامی که یک الکترون توسط یک یون بخشنده به دام می‌افتد، مدار آن در اطراف یون بخشنده شبیه وضعیت الکترون در اتم هیدروژن است (شکل ۸-۶). انرژی پیوندی را می‌توان با استفاده از مدل بوهر محاسبه نمود. ولی بایستی این واقعیت را به حساب آورد که در این جا بر هم کش کولنی توسط حفاظی که مربوط به حضور بلور نیمه‌رسانا است، تضعیف می‌شود. این حفاظ به عنوان محیطی عمل می‌کند که در آن، هم یون‌ها و هم اتم‌های بخشنده قرار می‌گیرند. بنابراین پتانسیل کولنی به صورت زیر درمی‌آید:

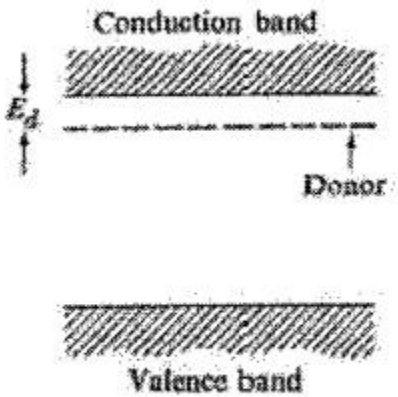
$$V(r) = -\frac{e^{۲}}{۴\pi\epsilon_r\epsilon_0 r} \qquad (۶-۱۷)$$

که ϵ_r ثابت دی الکتریکِ کاهش یافته‌ی محیط است.مثلاً در Si ثابت دی‌الکتریک ϵ_r =۱۱/۷ است که نشان دهنده یک کاهش قابل ملاحظه در نیروی برهم‌کنشی است. این حفاظ مسئول کوچک بودن انرژی پیوندی الکترون در جای گاه اتم بخشنده است.



شکل ۸-۶ مدار یک الکترون در اطراف یک اتم بخشنده.

همان‌گونه که در شکل (۹-۶) نشان داده شده است، تراز بخشنده در محدوده‌ی گاف انرژی به مقدار خیلی کمی پایین‌تر از نوار رسانش قرار می‌گیرد. چون این تراز خیلی به نوار رسانش نزدیک است، تقریباً همه‌ی اتم‌های بخشنده در دمای اتاق یونیده هستند و الکترون‌هایشان به‌نوار رسانش برانگیخته می‌شوند.



شکل ۹-۶ تراز بخشنده در یک نیمه‌رسانا.

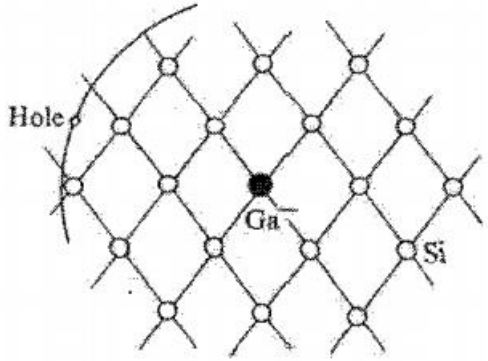
جدول ۲-۶: انرژی‌های یونی اتم‌های بخشنده و پذیرنده در Ge و Si (بر حسب الکترون ولت)

ناخالصی	$Si(\epsilon_r = 11.7)$	$Ge(\epsilon_r = 16)$
اتم های بخشنده:		
Li	۰/۰۳۳	-
P	۰/۰۴۴	۰/۰۱۲
As	۰/۰۴۹	۰/۰۱۳
Sb	۰/۰۳۹	۰/۰۹۶
Bi	۰/۰۶۹	-
اتم های پذیرنده:		
B	۰/۰۴۵	۰/۰۱۰
Al	۰/۰۵۷	۰/۰۱۰
Ga	۰/۰۶۵	۰/۰۱۱
In	۰/۱۶	۰/۰۱۱

از آنجا که تقریبا تمام اتم‌های بخشنده یونیده هستند، چگالی الکترون‌ها تقریباً مساوی چگالی اتم‌های پذیرنده است. مقدار نوعی چگالی در حدود $۱۰^{۱۵}\ cm^{-۳}$ است، ولی گاهی در اثر آلایندگی بسیار زیاد مقادیر چگالی خیلی بالاتر نیز به دست می‌آید.

اتمهای پذیرنده

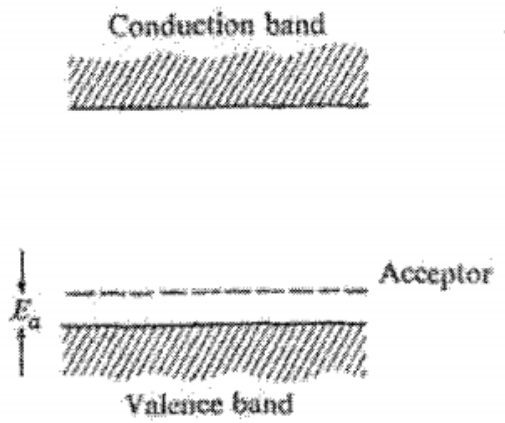
با انتخاب مناسب اتم‌های ناخالصی می‌توان به جای الکترون، حفره تولید کرد. فرض کنید بلور Si با اتم‌های ناخالصی Ga آلائیده شود. ناخالصی Ga در جای گاهی که قبلاً توسط اتم Si اشغال شده بود، جای می‌گیرد؛ ولی از آن جا که Ga سه ظرفیتی است، یکی از پیوندهای الکترونی خالی می‌ماند (شکل ۱۵-۶). ممکن است الکترونی از پیوند دیگری به سمت این جای خالی حرکت کند و آن را پر کند که نتیجه‌ی آن ایجاد یک جای خالی یا حفره در پیوند اخیر می‌شود. بنابراین حفره می‌تواند آزادانه در داخل بلور حرکت کند.به این ترتیب با وارد کردن تعداد زیادی از ناخالصی‌های سه ظرفیتی می‌توان یک چگالی مناسبی از حفره‌ها ـ که در واقع عدم وجود الکترون‌ها هستند ـ ایجاد کرد.



شکل ۱۰-۶ یک ناخالصی Ga در بلور Si. حفره اضافی درون بلور حرکت می‌کند.

ناخالصی سه ظرفیتی، پذیرنده نامیده می‌شود، زیرا یک الکترون را می‌پذیرد تا پیوند چهار وجهی خود را کامل کند. اتم پذیرنده به دلیل الکترون اضافی که به دام می‌اندازد، بار الکتریکی منفی دارد. حفره‌ای که ایجاد می‌شود، بار مثبت دارد و توسط اتم پذیرنده جذب می‌شود. انرژی پیوندی حفره در اتم پذیرنده را می‌توان به همان روشی که در بالا برای اتم‌های بخشنده عمل شد، محاسبه کرد. در این حالت نیز انرژی خیلی کم و از مرتبه‌ی ۰/۰۱eV است. (جدول ۲-۶ را ملاحظه نمایید.) بنابراین اساساً تمام اتم‌های پذیرنده در دمای اتاق یونیده هستند.

تراز انرژی اتم‌های پذیرنده هم چنان که در شکل ۱۱-۶ نشان داده شده است، در محدوده‌ی گاف انرژی و کمی بالاتر از لبه‌ی نوار ظرفیت است. این تراز متناظر با حفره‌ای است که توسط اتم پذیرنده به دام افتاده است. هنگامی که یک اتم پذیرنده یونیده می‌شود (یک الکترون از بالای نوار ظرفیت برانگیخته می‌شود تا این حفره را پر کند)، حفره در بالای نوار ظرفیت قرار می‌گیرد و یک حامل آزاد می‌شود.



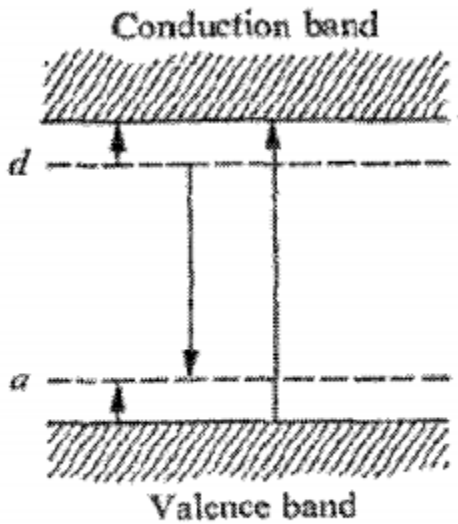
شکل ۱۱-۶ تراز پذیرنده در یک نیمه‌رسانا.

با وجود اینکه گفته شد محدوده گاف انرژی منطقه ممنوعه است قرار گیری ترازهای انرژی اتم های بخشنده و پذیرنده در آن چه توجیحی دارد؟

گفتیم ترازهای انرژی اتم‌های بخشنده و پذیرنده در محدوده‌ی گاف انرژی بلور قرار می‌گیرند. ولی در فصل ۵، آنجا که مدل نواری را بحث می‌کردیم، تأکید کردیم که محدوده‌ی گاف انرژی، یک منطقه‌ی ممنوعه است و هیچ حالت الکترونی نمی‌تواند در این محدوده قرار گیرد. تعارضی بین این دو عبارت نیست زیرا در بحث فصل ۵ با تک بلور سروکارداشتیم در حالی که ترازهای اتم‌های بخشنده و پذیرنده مربوط به حالت‌های ناخالصی‌اند. بنابراین به ناکاملی‌های بلور مربوط می‌شوند.

آمار نیمه رساناها

نیمه‌رساناها معمولاً هم شامل اتم‌های بخشنده و هم شامل اتم‌های پذیرنده هستند. الکترون‌ها در نوار رسانش را می‌توان یا با برانگیختگی حرارتی بین نواری و یا با یونش حرارتی اتم‌های بخشنده تولید کرد. حفره‌ها در نوار ظرفیت را می‌توان با برانگیختگی بین نواری یا با برانگیختگی حرارتی الکترون‌ها از نوار ظرفیت به تراز پذیرنده تولید کرد. بعلاوه ممکن است الکترون‌ها را از ترازهای بخشنده به تراز پذیرنده انداخت. شکل ۱۲-۶ انجام این فرایندهای مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۶ فرآیندهای الکترونی مختلف در یک نیمه رسانا (متن درس را ملاحظه نمایید)

محاسبه چگالی حامل‌های بار (هم الکترون‌هاو هم حفره‌ها) تحت شرایط کلی و با در نظر گرفتن تمام این فرایندها بسیار پیچیده است. در این جا به جای انجام چنین محاسبه‌ی کلی چند حالت خاص را که در عمل بیش‌تر با آنها مواجه می‌شویم، محاسبه می‌کنیم. بسته به پارامترهای فیزیکی موجود، دو ناحیه را می‌توان از هم تفکیک کرد، ناحیه ذاتی و ناحیه غیرذاتی.

ناحیه ذاتی

چگالی حامل‌ها در ناحیه ذاتی در درجه اول توسط گذارهای بین نواری که در اثر گرما ایجاد می‌شوند، تعیین می‌گردد. در نتیجه با تقریبت خوبی داریم:

$$n = p \qquad (۶-۲۰)$$

ناحیه ذاتی وقتی به دست می‌آید که ناخالصی‌های آلاینده کوچک باشند.اگر چگالی‌های بخشنده و پذیرنده را به n_d و n_a نشان دهیم، لازمه اعتبار شرط ذاتی این است که:

$$n \gg (n_d - n_a) \qquad (۶-۲۲)$$

دلیل این امر به سادگی قابل درک است. N_d الکترون در تراز بخشنده وجود دارد. ولی از این تعداد N_a آن‌ها، ممکن است به دام اتم‌های پذیرنده بیفتند، و فقط $N_d - N_a$ الکترون باقی می‌ماند که از تراز بخشنده به نوار رسانش برانگیخته می‌شوند. هنگامی که شرط (۲۲-۶) برقرار شود حتی یونیزاسیون تمام این اتم‌های ناخالصی باقی مانده کافی نیست تا اثر قابل ملاحظه‌ای بر الکترون‌هایی که به طور حرارتی از نوار ظرفیت برانگیخته می‌شوند، بگذارد. بنابراین چنین نیمه‌رسانایی را می‌توان به عنوان یک نمونه خالص در نظر گرفت و از تأثیر ناخالصی‌های آن صرف‌نظر کرد.

از آنجا که n سریعاً برحسب دماتغییر می‌کند. شرط ذاتی در دماهای بالاتر بهتر برآورده می‌شود. در حقیقت تمام نیمه‌رساناها در دماهای خیلی بالا ذاتی می‌شوند مگر این که آلایندگی به طور غیر عادی زیاد باشد.

ناحیه غیرذاتی

بسیار اتفاق می‌افتد که شرط ذاتی برقرار نمی‌شود. مثلاً برای یک میزان آلایندگی در حد معمول $10^{15}\ cm^{-3}$ ، تعداد حامل‌های تولید شده‌توسط ناخالصی‌ها آن قدر بزرگ است که در

دمای اتاق، چگالی ذاتی را به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر دهد. در واقع ناخالصی‌ها، حامل‌هایی را که توسط برانگیختگی بین نواری تولید می‌شوند، افزایش می‌دهند. وقتی چنین شد نمونه در ناحیه غیر ذاتی می‌باشد.

دو نوع مختلف ناحیه غیر ذاتی را می‌توان از هم تمیز داد. اولی وقتی رخ می‌دهد که چگالی اتم‌های بخشنده از چگالی اتم‌های پذیرنده خیلی بیش تر می‌شود؛ یعنی وقتی که $n_d \gg n_a$ است. در این حالت چگالی الکترون‌ها را می‌توان به سادگی محاسبه کرد. از آنجا که انرژی یونش اتم‌های بخشنده (انرژی پیوندی که در بخش ۲-۶ بحث شد) کاملا کوچک است، اساساً تمام اتم‌های بخشنده یونیده هستند و الکترون‌هایشان به نوار رسانش رفته است. بنابر این با تقریب خوبی رابطه زیر برقرار است.

$$n = n_d \qquad (۶-۲۳)$$

تحت این شرایط چگالی حفره‌ها کوچک است.

نیمه‌رسانایی که در آن $n \gg p$ است، نیمه‌رسانایی نوع n نامیده می‌شود (n اول کلمه negative است). این نام گذاری به اوایل کشف نیمه‌رساناها برمی‌گردد. همان طور که ملاحظه شد چنین نمونه‌ای با چگالی بسیار زیاد الکترون‌ها (بخشنده) مشخص می‌شود

نوع دیگری از ناحیه غیر ذاتی هنگامی رخ می‌دهد که $n_a \gg n_d$ یعنی آلایندگی عمدتاً توسط اتم‌های پذیرنده صورت گرفته باشد. با استفاده از استدلالی مشابه استدلال فوق، خواهیم داشت:

$$p \cong n_a \qquad (۶-۲۷)$$

یعنی تمام اتم‌های پذیرنده یونیده هستند.

چنین ماده‌ای، نیمه‌رسانای نوع p نامیده می‌شود که مشخصه آن غالب بودن تعداد حفره‌ها (اتم‌های پذیرنده) نسبت به تعداد الکترون‌ها است.

در بحث یونیزاسیون اتم‌های بخشنده (و پذیرنده) فرض کردیم دما به اندازه‌ی کافی بالا باشد به طوری که تمام اتم‌ها یونیزه باشند. قطعاً در دمای اتاق این فرض درست است. ولی اگردما به طور

فزاینده‌ای کاهش یابد، به نقطه‌ای می‌رسیم که انرژی گرمایی خیلی کوچک‌تر از آنی است که سبب برانگیختگی الکترون شود. در این صورت الکترون‌ها از نوار رسانش به تراز بخشنده می‌افتند و رسانایی نمونه سریعاً افت می‌کند. این پدیده را انجماد[1] گویند. زیرا در این حالت الکترون‌ها حالا در جای گاه های ناخالصی خود منجمد شده‌اند. دمای انجماد در حدود $۱۰۰^{\circ}K$ می باشد

رسانایی الکتریکی، تحرک

رسانایی الکتریکی کمیتی است که در نیمه‌رساناها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هم الکترون‌ها و هم حفره‌ها در ایجاد جریان الکتریکی سهیم‌اند. ولی برای سادگی، بحث را بانمونه‌ای که فقط شامل یک نوع حامل (الکترون) است، آغاز می‌کنیم. به بیان دیگر فرض می‌کنیم نمونه نیمه‌رسانای قوی نوع n باشد.

تحرک الکترونی در نیمه رسانای نوع n

هنگامی که یک میدان الکتریکی اعمال گردد الکترون‌ها در خلاف جهت میدان سوق می‌یابند و یک جریان خالص الکتریکی ایجاد می‌کنند. از آنجا که الکترون‌ها با یک جرم مؤثر m_e مشخص

1. Freeze - out

می‌شوند، می‌توان آنها را بر طبق مدل الکترون آزاد(فصل ۴) بررسی کرد.

$$\sigma_e = \frac{ne^{۲}\tau_e}{m_e} \qquad (۶-۲۹)$$

بنابراین رسانایی الکتریکی الکترون‌ها از رابطه زیر به دست می‌آید. (بخش ۴-۴) که τ_e عمر الکترون است. برای به دست آوردن مرتبه‌ی بزرگی τ_e، مقادیر زیر را جای گزین می‌نماییم. $m_e = ۰/۱m_0 \ , \tau_e = ۱۰^{-۱۲} \ s \ , n = ۱۰^{۱۵} \ cm^{-۳} = ۱۰^{۲۱} \ m^{-۳}$ مقدار $\sigma \cong ۱ \ (ohm - m)^{-۱}$ به دست می‌آید که یک مقدار نوعی در نیمه‌رساناها است. اگر چه این مقدار چندین مرتبه‌ی بزرگی کمتر از مقدار نوعی رسانایی فلزات $\sigma \cong ۱۰^{۷} \ (ohm - m)^{-۱}$ است، رسانایی یک نیمه‌رسانا برای مقاصد و کاربردهای عملی، به اندازه‌ی کافی بزرگ است. دلیل این که σ_e در نیمه‌رساناها این قدر کوچک است این است که در این مواد چگالی الکترونی کوچک است. چگالی الکترونی در فلزات معمولاً در حدود $۱۰^{۲۸} \ m^{-۳}$ و در نیمه‌رساناها در حدود $۱۰^{۲۱} \ m^{-۳}$ است. از نسبت این اعداد برای محاسبه مقادیر نسبی رسانندگی استفاده می‌شود.

فیزیک دان‌های نیمه‌رسانا، اغلب از ضریب ترابری دیگری به نام *تحرک*[1] استفاده می‌کنند که به صورت زیر تعریف می‌شود: سرعت سوق الکترون در میدان الکتریکی مطابق رابطه‌ی (۷-۴) به صورت زیر نوشته می‌شود

$$\upsilon_e = -\frac{e\tau_e}{m_e}\varepsilon \qquad (۶-۳۰)$$

$$\left(m^*\frac{d\upsilon}{dt} = -e\varepsilon - m^*\frac{\upsilon}{\tau} \quad (۴-۶) \Rightarrow \upsilon = -\frac{e\tau}{m^*}\varepsilon \quad (۴-۷) \right)$$

علامت منفی به خاطر بار منفی الکترون است. تحرک الکترون μ_e به صورت نسبت $\frac{\upsilon_e}{\varepsilon}$ یعنی سرعت بر واحد شدت میدان تعریف می‌شود. بنابراین

$$\mu_e = \frac{e\tau_e}{m_e} \qquad (۶-۳۱)$$

در تعریف تحرک معمولاً علامت منفی در نظر گرفته نمی‌شود. همان‌گونه که تعریف شد، *تحرک*، معیاری از سرعت و تحرک الکترون در میدان الکتریکی است. هر چه عمر الکترون τ_e طولانی‌تر

1. Mobility

و جرم آن کمتر باشد، تحرک الکترون بیش تر است. مقادیر تحرک برای تعدادی از مواد در جدول ۳-۶ آمده است.

حال می‌توانیم رسانایی را بر حسب تحرک بیان نماییم. با مراجعه به روابط (۲۹-۶) و (۳۱-۶) می‌توان نوشت:

$$\sigma_e = ne\mu_e \qquad (۶-۳۲)$$

که نشان می‌دهد σ_e متناسب با μ_e است. مقدار نوعی μ_e را می‌توان با جای گزینی $\sigma_e \cong ۱\ (\text{ohm} - \text{m})^{-۱}$ و $n = ۱۰^{۲۱}\ m^{-۳}$ به دست آورد:

$$\mu_e \cong ۱۰^{-۲}\ \text{cm}^۲/\text{V} - \text{s} = ۱۰۰\ \text{cm}^۲/\text{V} - \text{s}$$

تحرک حفره در نیمه رسانای نوع p

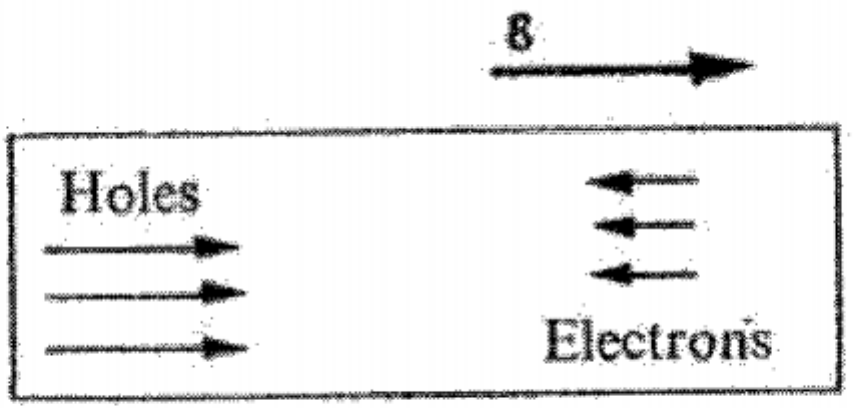
آن چه را که درباره‌ی الکترون‌ها در یک نمونه‌ی نیمه‌رسانای قوی نوع n گفته شد می‌توان به بحث حفره‌ها در یک نیمه‌رسانای قوی نوع p تعمیم داد. رسانایی الکتریکی حفره‌ها با رابطه‌ی زیر بیان می‌شود:

$$\sigma_h = \frac{pe^2\tau_h}{m_h} = pe\mu_h \qquad (۶-۳۳)$$

که μ_e ، تحرک حفره است. مقادیر μ_e برای نیمه‌رساناها در جدول ۳-۶ آمده است.

حالا به حالت کلی می‌پردازیم که در آن هم الکترون‌ها و هم حفره‌ها حضور دارند. هنگامی که یک میدان الکتریکی بر نمونه اعمال شود، مطابق شکل ۱۴-۶ الکترون‌ها در خلاف جهت میدان و حفره‌ها در جهت میدان جریان می‌یابند. جریان و رسانایی دو حامل با هم جمع می‌شود. بنابراین:

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_h$$



شکل ۱۴-۶ سوق الکترون‌ها و حفره‌ها در حضور یک میدان الکتریکی.

یعنی هم الکترون‌ها و هم حفره‌ها در جریان الکتریکی سهیم هستند. بر حسب تحرک‌های الکترون و حفره می‌توان نوشت:

$$\sigma = ne\mu_e + pe\mu_h \qquad (۶-۳۴)$$

همان‌گونه که در بخش قبل بحث شد، اگر نمونه آلائیده شده باشد، لازم نیست چگالی‌های n و p با هم برابر باشند. بسته به این که نیمه‌رسانا نوع n یا p باشد، چگالی الکترون یا حفره ممکن است، بیش تر باشد. ولی هنگامی که ماده در ناحیه‌ی ذاتی است، n=p و معادله (۶-۳۴) به شکل زیر در می‌آید:

$$\sigma = ne(\mu_e + \mu_h) \qquad (۶-۳۵)$$

که $n = n_i$ ، چگالی ذاتی است. حتی حالا هم سهم دو حامل در ایجاد جریان مساوی نیست. حامل‌های با تحرک بیشتر (معمولاً الکترون‌ها) سهم بیش تری دارند.