

ANEXE

Anexa 1. Unele proprietăți ale semiconductorilor de Ge, Si și GaAs

	Ge	Si	GaAs	InP
Nr atomilor în 1 cm ³	4,42 10 ²²	5,0 10 ²²	4,42 10 ²²	
Greutatea atomică	72,60	28,09	144,63	145,79
Structura cristalină	diamant	diamant	zincblend	zincblend
Densitatea, g/cm ³	5,3267	2,328	5,32	4,81
Constanta dielectrică	16	11,9	13,1	12,4(5)
Densitatea (efectivă a) stărilor în banda de conducție, N _c , cm ⁻³	1,04 10 ¹⁹	2,8 10 ¹⁹	4,7 10 ¹⁷	5,2 10 ¹⁷
Densitatea (efectivă a) stărilor în banda de valență, N _v , cm ⁻³	6,0 10 ¹⁸	1,04 10 ¹⁹	7,0 10 ¹⁷	1,1 10 ¹⁹
Masa efectivă m*/m ₀				
electronilor	m _l *=1,64 m _r *= 0,082	m _i *= 0,98 m _r *= 0,19	0,067	0,08
golurilor	m _{lh} *= 0,044 m _{hh} *= 0,28	m _{lh} *= 0,16 m _{hh} *= 0,49	m _{lh} *= 0,082 m _{hh} *= 0,45	m _{lp} =0,089 m _{hh} =0,6
Afinitatea electronilor, χ	4,0	4,05	4,07	4,5 (4,38)
Lățimea benzii interzise, eV	0,66	1,12	1,424	1,35
Concentrația intrinsecă, cm ⁻³	2,4 10 ¹³	1,45 10 ¹⁰	1,79 10 ⁶	10 ⁷
Lungimea Debye, μm ($\epsilon k_B T / q^2 N_{\text{dopant}}$) ^{1/2}	0,68	24	2250	
Rezistivitatea intrinsecă, Ohm cm	47	2,3 10 ⁵	10 ⁸	8,6 10 ⁷
Constanta rețelei, Å	5,64613	5,43095	5,6533	5,8686
Coeficientul linear de dilatare termică, $\Delta L / L \Delta T$, °C ⁻¹	5,8 10 ⁻⁶	2,6 10 ⁻⁶	6,86 10 ⁻⁶	4,6 10 ⁻⁶
Temperatura de topire, °C	937	1415	1238	1062

Timpul de viață a purtătorilor minoritari, s	10^{-3}	$2,5 \cdot 10^{-3}$	10^{-8}	10^{-8}
Mobilitatea de drift, $\text{cm}^2/\text{V s}$				
electronilor	3900	1500	8500	4600
gurilor	1900	450	400	200
Energia fotonului optic, eV	0,037	0,063	0,035	0,043
Parcursul liber până la emisia fotonului optic, Å	105	76/55	58	
Temperatura specifică, $\text{J/g } ^\circ\text{C}$	0,31	0,7	0,35	0,31
Coeficientul de conducție termică la 300 K, $\text{W/cm } ^\circ\text{C}$	0,6	1,5	0,46	0,68
Coeficientul difuziei termice, cm^2/s	0,36	0,9	0,14	0,372

Anexa 2. Conversii utile

$$1 \text{ eV} = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C V} = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = h\nu = hc/\lambda = 1239,8 \text{ eV}/\lambda \text{ (nm)}$$

$$kT = 25,86 \text{ meV (T=300 K)} \quad \text{sau} \quad kT = 25,25 \text{ meV (T=20 } ^\circ\text{C)}$$

$$1 \text{ amper (A)} = 1 \text{ C/s}$$

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A s}$$

$$1 \text{ farad (F)} = 1 \text{ C/V}$$

$$1 \text{ henri (H)} = 1 \text{ V s/A}$$

$$1 \text{ joule (J)} = 10^7 \text{ erg} = 1 \text{ W s} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ eV} = 1 \text{ N m} = 1 \text{ C V}$$

$$1 \text{ volt (V)} = 1 \text{ W/A} = 1 \text{ J/A s}$$

Anexa 3. ISO 20473 pentru divizarea radiației infraroșii:

Infraroșu apropiat (NIR near-infrared) și lungimea de undă 0,78 – 3,0 μm .

Infraroșu mediu (MIR-mid-infrared) și lungimea de undă de 3,0 – 50 μm

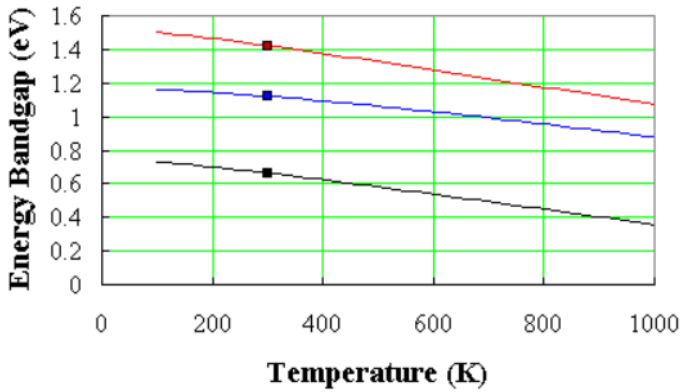
Infraroșu îndepărtat (FIR - far-infrared) și lungimea de undă 50-1000 μm .

Anexa 4. Constantele fizice

Constanta	Simbolul	Valoarea
Angstrom	Å	$1 \text{ Å} = 10^{-4} \mu\text{m}, 10^{-8} \text{ cm}, 10^{-10} \text{ m}$
Numărul lui Avogadro	N_{AVO}	$6,02204 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Raza Bohr	a_{B}	$0,52917 \text{ Å}$
Constanta Boltzmann (= R/N_{AVO})	k	$1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ $8,617 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$
Sarcina elementară	q	$1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Masa electronului liber	m_0	$0,91095 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$
Electronvolt	eV	$1 \text{ eV} = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
Constanta gazelor = kN_{AVO}	R	$8,3143 \text{ J/K mol}$
Constanta Rydberg	R_{∞}	$2,179 \cdot 10^{-18} \text{ J}$
Masa de repaus a electronului	m_e	$9,1096 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Magnetonul Procopiu-Bohr (= $e\hbar/2m_e$)	μ_e	$-92732 \cdot 10^{-24} \text{ A m}^2$
Permeabilitatea magnetică a vidului (= $4\pi \cdot 10^{-9}$)	μ_0	$1,25663 \cdot 10^{-8} \text{ H/cm}$
Permitivitatea vidului (= $1/\mu_0 c^2$)	ϵ_0	$8,85418 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm}$
Impedanța vidului (= $\mu_0 c$)	Z_0	$376,730314 \text{ Ohm}$
Constanta Planck	h	$6,62617 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ $4,1356 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$
Constanta Dirac (constanta Planck redusă) (= $\hbar/2\pi$)	\hbar	$1,05458 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ $6,5821 \cdot 10^{-16} \text{ eVs}$
Viteza luminii în vid	c	$2,99792 \cdot 10^{10} \text{ cm/s}$
Lungimea de undă a fotonului cu energia de 1 eV	λ	$1,23977 \mu\text{m}$
Zero absolut pe scara Celsius	$^{\circ}\text{C}$	$-273,15$
Unitatea atomică de masă	$m_{\text{u}} = 1 \text{ u}$	$1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

\hbar (pronunțare *h* barat) – factorul de proporționalitate între energie și frecvența unghiulară (pulsăție): $E = \hbar\omega$

Anexa 5. Dependența benzii interzise de temperatură în unele semiconductoare



și a parametrilor α , β pentru calculul acestei dependențe conform relației

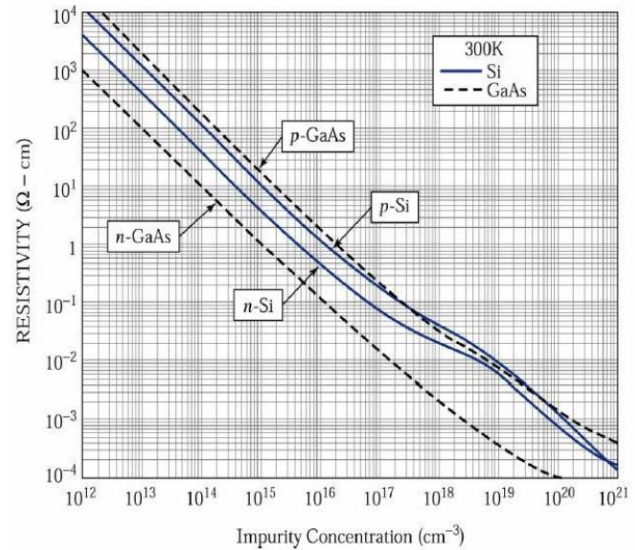
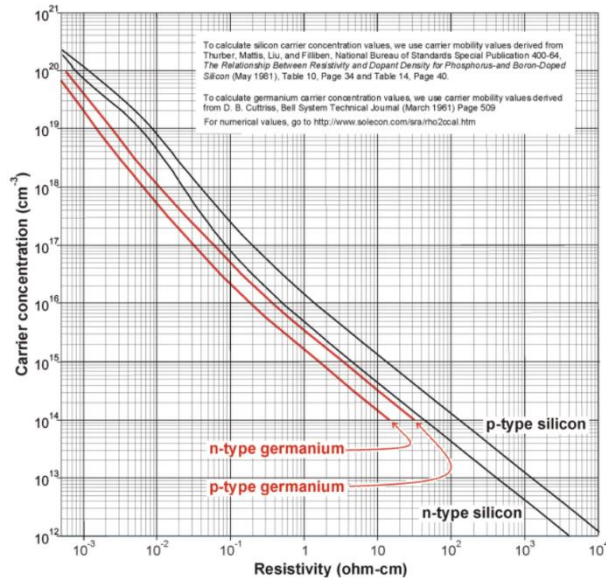
$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{T + \beta}$$

	Germanium	Silicon	GaAs
$E_g(0)$ [eV]	0.7437	1.166	1.519
α [eV/K]	4.77×10^{-4}	4.73×10^{-4}	5.41×10^{-4}
β [K]	235	636	204

Anexa 6. Parametrii unor materiale semiconductoare

	E_{gap}	μ_n	μ_p		a_0	ϵ_r	N_c	N_v
Compusul	eV 300K	cm^2 $\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$	cm^2 $\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$	Structura	nm a/c pentru wurtzite	ϵ_0	cm^{-3}	cm^{-3}
Banda interzisă indirectă a semiconductoarelor								
Si	1.12	1900	500	d	0.543072	11.8	3.2×10^{19}	1.8×10^{19}
Ge	0.67	3800	1820	d	0.565754	16	1.0×10^{19}	5.0×10^{18}
AlP	2.52	80		z	0.54672			
AlAs	2.16	1200	420	z	0.56622	10.9		
6H SiC	2.39	200	18	w	0.3073/1.0053	10.2	8.9×10^{19}	2.5×10^{19}
Banda interzisă directă a semiconductoarelor								
a-Sn	0.08	2500	2400	d	0.64912			
GaAs	1.43	8800	400	z	0.565315	13.2	4.5×10^{17}	9.5×10^{18}
InAs	0.36	33000	460	z	0.605838	14.6		
AlN	6.2	300	14	w	0.498	9.1	6.2×10^{18}	4.9×10^{20}
GaN	3.4	400	150	w	0.3133/0.5187	8.9	2.2×10^{18}	4.6×10^{19}
InN	0.7	20		w	0.3536/0.5701	15.3	9.1×10^{17}	5.2×10^{19}
GaP	2.26	300	150	z	0.54505	11.1	1.8×10^{19}	1.9×10^{19}
InP	1.27	4600	150	z	0.586875	12.4	5.7×10^{17}	1.1×10^{19}
ZnS	3.54	180	4	z	0.54093	8.9		
ZnSe	2.58	540	28	z	0.56676	9.2		
CdS	2.42	250	15	z	0.55818	8.9		
CdSe	1.73	650		z	0.605	10.2		

Anexa 7. Rezistivitatea semiconductorilor vs concentrația impurităților



BIBLIOGRAFIA

(în ordine alfabetică)

1. Canțer V., Nicolaescu I.I. Tighineanu I. . Fizica corpului solid. Vol 2, 3, Chișinău , 1991, 264 p./ 206 p.
2. Dan Sachelarie, Gabriel Predușca, Henri-George Coandă. Probleme fundamentale de microelectronică, Matrix Rom, București, 2004
3. Robert W. Dutton and Chang-Hoon Choi. Implications of gate tunneling and quantum effects on compact modeling in the gate-channel stack. http://www-tcad.stanford.edu/tcad/pubs/device/msm_choi.pdf
4. Dispozitive și circuite electronice. Probleme. Ed. Didactică și pedagogică, București 1982. D. Dascalu ș.a.
5. E.Fred Schubert Light Emitting Diodes, 2nd Ed. <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/InP/>
6. P.Gașin, P.Gaugaș, A.Focșa. Fizica dispozitivelor semiconductoare, Tipografia Centrală, Chișinău, 1998
7. O. Gunawan, et al., Carrier-resolved photo-Hall effect, Nature 575, 151 (2019). <https://koreauiv.pure.elsevier.com/en/publications/carrier-resolved-photo-hall-effect>
8. Handbook Series on Semiconductor Parameters, Volume 1: Si, Ge, C (Diamond), GaAs, GaP, GaSb, InAs, InP, InSb
9. <https://doi.org/10.1142/2046> | November 1996, Pages: 452, Edited By: M Levinshtein, S Rumyantsev, M Shur.
10. E.V.Lavrov. Problems and Solutions to Physics of Semiconductor Devices. <https://vdocuments.mx/problems-and-solutions-to-physics-of-semiconductor-devices.html>
11. Ion Munteanu, Fizica Solidului, Ed. Universității din București, București, 2003, 722 p.
12. Introducere în fizica corpului solid. Traducere din engleză. Charles Kittel. Editura Tehnica. 1972, 806 p.
13. Neamen D/A/ Semiconductors Physics and Devices: Basic principles, Homewood? IL Irwin? 1992/
14. Phototronics. Microtechnology and MEMS, DOI, 10.1007/978-3-642-34237-0_1, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012
15. Principles of Semiconductor Devices, by Bart Van Zeghbroeck, 2011, <http://ecee.colorado.edu/~bart/book/>
16. M.Rizzi, M.D'Aloia, B. Castanoglo. Semiconductor Detectors and Principles of Radiation/matter Interaction. J. of Appl. Sciences, 10 (23), 3141-3155, 2010. <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jas/2010/3141-3155.pdf>

17. Sursa: A. Asenov, J. R. Watling A. R. Brown, D. K. Ferry, "The use of Quantum Potential for Confinement and Tunnelling in Semiconductor devices", Journal of Computational Electronics, 1:503-513 2002
18. Sah C.T. Fundamental of Solid State Electronics, World Scientific, 1991, 1011 p.
19. Y.P.Varshni, Temperature Dependence of the Energy Gap in Semiconductors. Physica, v. 34, Issue 1, 1967, p.p. 149-164.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0031891467900626>
20. Z.L.Wang, Piezophotonics and Piezophotonics
https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_8.html
21. Аркуша Ю.В., Белецкий Н.И., Прохоров Э.Д. Задачи по твердотельной электронике. Учебн. пособие. Харьков. ХНУ, 2004, 144 с.
22. Г.И. Базир, Физические основы микроэлектроники, Ульяновск, УлГТУ, 2006, 115 с. <http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2006/73.pdf>
23. А.И.Белоус, С.А.Ефименко, А.С.Турцевич. Полупроводниковая силовая электроника. М., Техносфера, 2013, 216 с.
24. В.Л.Бонч-Бруевич, И.П.Звягин, И.В.Карпенко, А.Г.Миронов. Сборник задач по физике полупроводников, М., Наука, Гл. ред. физ-мат. лит. 1987, 144 с.
25. Н.В.Бурбаева, Т.С.Днепровская. Основы полупроводниковой электроники. М., ФИЗМАТЛИТ, 2012. 312 с.
26. Н.В.Бурбаева, Т.С.Днепровская. Сборник задач по полупроводниковой электронике. М., ФИЗМАТЛИТ, 2004. 168 с
27. Д. В. Величко, В. Г. Рубанов, Полупроводниковые приборы и устройства, Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2006. –
28. В.А.Гуртов. Твердотельная электроника. Учебное пособие. Издание второе исправленное и дополненное. М., 2005. 492 с.
29. Егоров М.Н. Электроника. Конспект лекций. /Электронный ресурс/. Красноярск, ИПК СФУ, 2008
30. Киреев В.Ф. Физика полупроводников, Высшая школа, 1969, 590 с.
31. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов. М., ФИЗМАТЛИТ, 2008, 488 с.
32. В. Ф. Попов Физические основы микроэлектроники, Тамбов, Изд. ТГТУ 2001. <http://window.edu.ru/resource/761/21761/files/popov2.pdf>.
33. В.И.Старосельский. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники, ЮРАЙТ, Москва, Высшее образование, 2009, 463 с.
34. https://file004.ru/jk9fsg7fsghajj8ggshjuuisaoss7adsdh.Fizikapoluprovodnikovyhpriborovmikr_pdf.rar.html

35. Федотов Я.Л. Основы физики полупроводниковых приборов. Изд. 2-еб М., Советское Радио, 1969. 592 с.
36. Физический энциклопедический словарь. Гд. Ред. А.М.Прохоров. М., Советская энциклопедия, 1984, 944 с.
37. Шалимова К.В. Физика полупроводников, М., Энергия, 1976, 416 с.
38. А.Г.Захаров, Ю.Б.Какурин, Н.А.Филипенко. Сборник задач по дисциплине Физические основы микроэлектроники. Таганрог, Изд. ТРТУ, 2005, 91 с.
39. Зебрев Г.И. Сборник задач по курсу «Основы микроэлектроники» Ред. Н.В. Шумакова, МИФИ. Типография МИФИ. 2003.
40. С.Зи, Физика полупроводниковых приборов, в 2-х кн., книга 2-я, М., 1984, 456 с.
41. https://www.cree.com/led-components/media/documents/LED_color_mixing.pdf
42. <http://www.ysctech.com/digital-microscope-CCD-camera-info.html>
43. <http://cctvsystemblog.blogspot.com/2013/07/electron-multiplying-charge-coupled.html>
44. <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/>
45. http://www.nsu.ru/xmlui/bitstream/handle/nsu/9039/pp_pribor.pdf
46. <http://1.bp.blogspot.com/-wPohyyammoY/VDcZVD-AWZI/AAAAAAAAAXc/TiRCPs3j4CQ/s1600/Feng-Laser1.jpg>
47. <https://tse4.mm.bing.net/th?id=OIP.YMiCG6WYQA4tkCBZTavVuAHaEU&pid=Api&P=0&w=258&h=151>
48. <https://i.pinimg.com/originals/07/6d/f7/076df79f6afb1d7cbbf1ccc007ef8603.jpg>
49. <https://www.microscopyu.com/digital-imaging/introduction-to-charge-coupled-devices-ccds>
50. <http://hamamatsu.magnet.fsu.edu/articles/images/quantumefficiencyfigure1.jpg>
51. https://energy.gov/sites/prod/files/styles/media_energy_gov_wysiwyg_fullwidth/public/led-50.basics_white_light_0615.jpg?itok=vfhOmT4lhttps://www.britannica.com/science/semiconductor
52. <https://ecee.colorado.edu/~bart/book/eband5.htm>
53. <https://globalsmt.net/wp-content/uploads/2019/10/hall-4-.png>
54. https://www.researchgate.net/profile/Ok_Gunawan/publication/316006953/figure/fig3/AS:557799106592768@1510001078268/The-camelback-field-confinement-effect-in-a-parallel-dipole-line-system_Q320.jpg