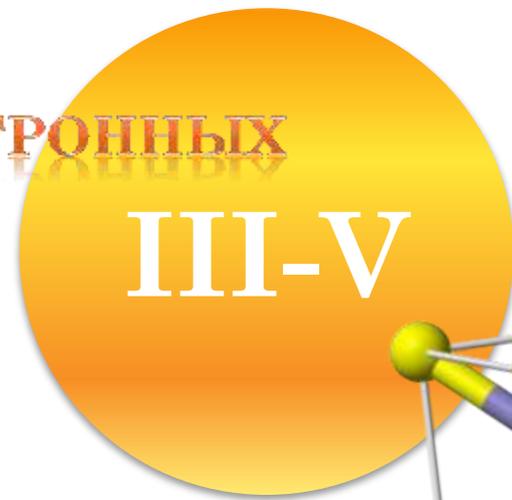
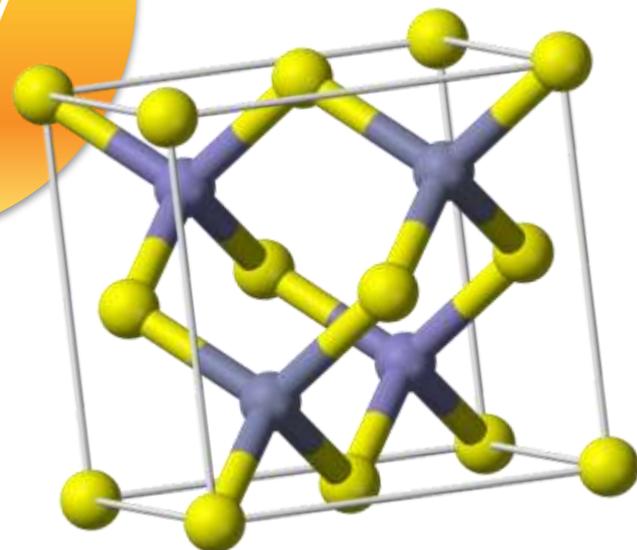




**ФИЗИКА
МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ
ПРИБОРОВ**



III-V



1.

1.1. История развития и перспективы A^3B^5 микроэлектроники.

1.2. Кристаллическая структура A^3B^5 полупроводников.

Литература

- **Adachi S.** Physical properties of III-V semiconductor compounds: InP, InAs, GaAs, GaP, InGaAs, and InGaAsP. – Wiley, 1992 – 318 p.
- **Oktyabrsky S., Ye P. D.** Fundamentals of III-V Semiconductor MOSFETs. – Springer, 2010. – 445 p.
- **Sze S., Ng K. K.** Physics of semiconductor devices. – Wiley, 2007. – 765 p.
- **Громов Д. В., Краснюк А. А.** Материаловедение для микро- и наноэлектроники. – М.:МИФИ. – 156 с.
- **Vasa A. G., Ashby C. I. H.** Fabrication of GaAs Devices. – IET, 2009. – 350 p.
- **Schubert E. F.** Light-emitting diodes. – Cambridge University Press, 2006. – 422 p.
- **Doering R., Nishi Y.** Handbook of semiconductor manufacturing technology. – CRC Press, 2008. – 1720 p.
- **Grundmann M.** The Physics of Semiconductors: An Introduction Including Devices and Nanophysics. – Springer, 2006. – 690 p.
- **Епифанов Г. И.** Физические основы микроэлектроники. – М.: Советское Радио, 1971. – 376 с.
- **Кейси Х., Паниш М.** Лазеры на гетероструктурах. В 2-х томах. – М.: Мир, 1981. – 300 с., 365 с.

Место

Group 1 Группа Iа	1.00794
	1 H
Period 1	1s ¹ -259.14 -252.87 2.02/-
	Hydrogen Водород Hydrogenium

Group 2	6.941	9.012182
	3 Li	4 Be
Period 2	[He]2s ¹ 180.54 1347 0.98/0.97	2s ² 1278 2970 1.57/1.47
	Lithium Литий	Beryllium Бериллий

Group 11	22.989770	24.3050
	11 Na	12 Mg
Period 3	[Ne]3s ¹ 97.86 883.15 0.93/1.01	3s ² 648.8 1107 1.31/1.23
	Sodium Натрий Natrium	Magnesium Магний

Group 19	39.0983	40.078	44.955910	47.867	50.9415	51.9961	54.938046	55.845	58.933200	58.8934	63.546	65.39
	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn
Period 4	[Ar]4s ¹ 63.65 774 0.82/0.91	4s ² 839 1487 1.00/1.04	3d ¹ 4s ² 1541 2831 1.36/1.20	3d ² 4s ² 1670 3287 1.54/1.32	3d ³ 4s ² 1890 3380 1.63/1.45	3d ⁴ 4s ² 1857 2672 1.66/1.56	3d ⁵ 4s ² 1244 1962 1.55/1.60	3d ⁶ 4s ² 1535 2750 1.83/1.64	3d ⁷ 4s ² 1495 2870 1.88/1.70	3d ⁸ 4s ² 1453 2732 1.91/1.75	3d ⁹ 4s ¹ 1083.4 2567 1.65/1.66	3d ¹⁰ 4s ² 419.88 907 1.65/1.66
	Potassium Калий Kalium	Calcium Кальций	Scandium Скандий	Titanium Титан	Vanadium Ванадий	Chromium Хром	Manganese Марганец Manganum	Iron Железо Ferrum	Cobalt Кобальт Cobaltum	Nickel Никель Niccolum	Copper Медь Cuprum	Zinc Цинк Zincum

Group 37	85.4678	87.62	88.90585	91.224	92.90638	95.94	101.07	102.90550	106.42	107.8682	112.411	114.818	118.710	121.760	126.90447	131.29		
	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
Period 5	[Kr]5s ¹ 38.89 687.2 0.82/0.89	5s ² 769 1364 0.95/0.99	4d ¹ 5s ² 1522 3337 1.22/1.11	4d ² 5s ² 1852 4377 1.33/1.22	4d ³ 5s ² 2468 4742 1.6/1.23	4d ⁴ 5s ² 2617 4612 2.16/1.30	4d ⁵ 5s ² 2172 4877 1.9/1.36	4d ⁶ 5s ² 2310 4277 2.2/1.42	4d ⁷ 5s ² 1966 3727 2.2/1.4	4d ⁸ 5s ¹ 1552 3140 2.2/1.4	4d ⁹ 5s ¹ 961.93 2212 1.9/1.4	4d ¹⁰ 5s ¹ 320.9 765 1.7/1.5	4d ¹⁰ 5s ² 156.78 2080 1.96/1.5	4d ¹⁰ 5s ² 630.5 1750 2.05/1.8	4d ¹⁰ 5s ² 231.88 1680 2.1/2.0	4d ¹⁰ 5s ² 449.5 184.35 2.66/2.2	4d ¹⁰ 5s ² 113.5 184.35 2.66/2.2	4d ¹⁰ 5s ² 111.9 107.1 5.85 eV
	Rubidium Рубидий	Strontium Стронций	Yttrium Иттрий	Zirconium Цирконий	Niobium Ньюбий	Molybdenum Молибден Molybdenum	Technetium Технеций	Ruthenium Рутений	Rhodium Родий	Palladium Палладий	Silver Серебро (Argentum)	Cadmium Кадмий	Indium Индий	Tin Олово Stannum	Antimony Сурьма (Stibium)	Tellurium Теллур	Iodine Иод Iodum	Xenon Ксенон

Group 55	132.90545	137.327	138.9055	178.46	180.9479	183.84	186.207	190.23	192.217	195.078	196.96655	200.59	204.3833	207.2	208.98038	(210)	(210)	(222)	
	55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
Period 6	[Xe]6s ¹ 67.4 0.79/0.86	6s ² 725 1640 0.89/0.97	5d ¹ 6s ² 920 3454 1.10/1.08	4f ¹⁴ 5d ² 6s ² 2227 4602 1.3/1.23	4f ¹⁴ 5d ³ 6s ² 2998 5425 1.5/1.31	4f ¹⁴ 5d ⁴ 6s ² 3410 5660 1.7/1.40	4f ¹⁴ 5d ⁵ 6s ² 3180 5627 1.9/1.46	4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ² 3045 5027 2.2/1.62	4f ¹⁴ 5d ⁷ 6s ² 2410 4130 2.2/1.6	4f ¹⁴ 5d ⁸ 6s ² 1773.5 3930 2.2/1.4	4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹ 1064.43 2807 2.54/1.42	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹ 320.9 356.6 1.9/1.5	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 303.5 1457 1.62/1.4	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 327.5 1740 2.33/1.55	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 327.5 1664 2.02/1.67	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 271.3 989.8 2.0/1.76	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 302 337 2.2/1.86	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 302 337 2.2/1.86	4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² -71.0 -61.8 5.1 eV
	Cesium Цезий (Caesium)	Barium Барий	Lanthanum Лантан	Hafnium Гафний	Tantalum Тантал	Wolfram Вольфрам Wolframium	Rhenium Рений	Osmium Осмий	Iridium Иридий	Platinum Платина	Gold Золото Aurum	Mercury Ртуть (Hydrargyrum)	Thallium Таллий	Lead Свинец (Plumbum)	Bismuth Висмут Bismuthum	Polonium Полоний	Astatine Астат Astellum	Radon Радон	

Group 87	(223)	(226)	(227)	(281)	(282)	(283)	(284)	(285)	(286)	(289)	()	()	()	()	()	()	()	()	()	
	87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub	113 Unt	114 Uuq						
Period 7	[Rn]7s ¹ 27 677 0.7/0.86	7s ² 970 1140 0.89/0.97	6d ¹ 7s ² 1050 (-3250) 1.1/1.0	5f ¹⁴ 6d ² 7s ²	5f ¹⁴ 6d ³ 7s ²	5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ²	5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ²	5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ²	5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ²	5f ¹⁴ 6d ⁸ 7s ²	5f ¹⁴ 6d ⁹ 7s ²	5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²								
	Francium Франций	Radium Радий	Actinium Актиний	Rutherfordium Резерфордий	Dubnium Дубний	Seaborgium Сиборгий	Bohrium Борий	Hassium Хассий	Mtnerium Мейтнерий	Ununnilium Унунний	Unununium Унунуний	Ununbium Унунбий	Ununtrium Унунтрий	Ununquadium Унунквадий						

* Element has no stable nuclides. For radioactive elements the value in parentheses refers to the number of nucleons (mass number) of the most stable isotope (IUPAC, 1995)

* Элемент не имеет устойчивых изотопов. Для него в скобках приведено значение массового числа (число нуклонов в ядре) наиболее долгоживущего изотопа (ИЮПАК, 1995).

() Alternative english name
() American spelling of the element's name
() Alternative english name
() Alternative english name
() American spelling of the element's name
() Alternative english name
() American spelling of the element's name

Cerium Церий	Praseodymium Празеодим	Neodymium Неодим	Promethium Прометий	Samarium Самарий	Europium Европий	Gadolinium Гадолий	Terbium Тербий	Dysprosium Диспрозий	Holmium Гольмий	Erbium Эрбий	Thulium Тулий	Ytterbium Иттербий	Lutetium Лютеций
(232)	(231)	(238)	(239)	(239)	(243)	(247)	(247)	(252)	(251)	(257)	(258)	(259)	(260)
6d ¹ 7s ²	5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	5f ¹⁴ 6d ² 7s ²	5f ¹⁴ 6d ³ 7s ²	5f ¹⁴ 7s ²									
1750 (-3800) 1.1/1.1	1572 3818 1.1/1.1	1132 3818 -1.2/1.2	639 3902 1.22/1.2	641 2607 1.2/1.2	996 2607 -1.1/1.2	1340 3110 1.2/1.2	1050 2630 -1.1/1.2	800 1227 1.2/1.2	860	1.3/-	1.2/1.2	1.3/-	1.3/-
Thorium Торий	Protactinium Протактиний	Uranium Уран	Neptunium Нептуний	Plutonium Плутоний	Americium Америций	Curium Кюрий	Berkelium Берклий	Californium Калифорний	Einsteinium Эйнштейний	Fermium Фермий	Mendelevium Менделевий	Nobelium Нобелий	Lawrencium Лоуренсий

Атомная масса, относительная
186.207

Атомный номер. Обозначение
75Re
[Xe] 4f¹⁴5d⁵6s²

Распределение электронов
3180

Температура плавления (°C)
5627

Температура кипения (°C)
1.9/1.46

Электроотрицательность
(по Полингу/по Аллреду и Рохову)

Название
Рений

Латинское название
Rhenium

Atomic mass, relative
186.207

Atomic No. Symbol
75Re
[Xe] 4f¹⁴5d⁵6s²

Electron configuration
3180

Melting point (°C)
5627

Boiling point (°C)
1.9/1.46

Electronegativity
(Pauling/Alfred & Rochov)

Name
Rhenium

Latin name
Rhenium

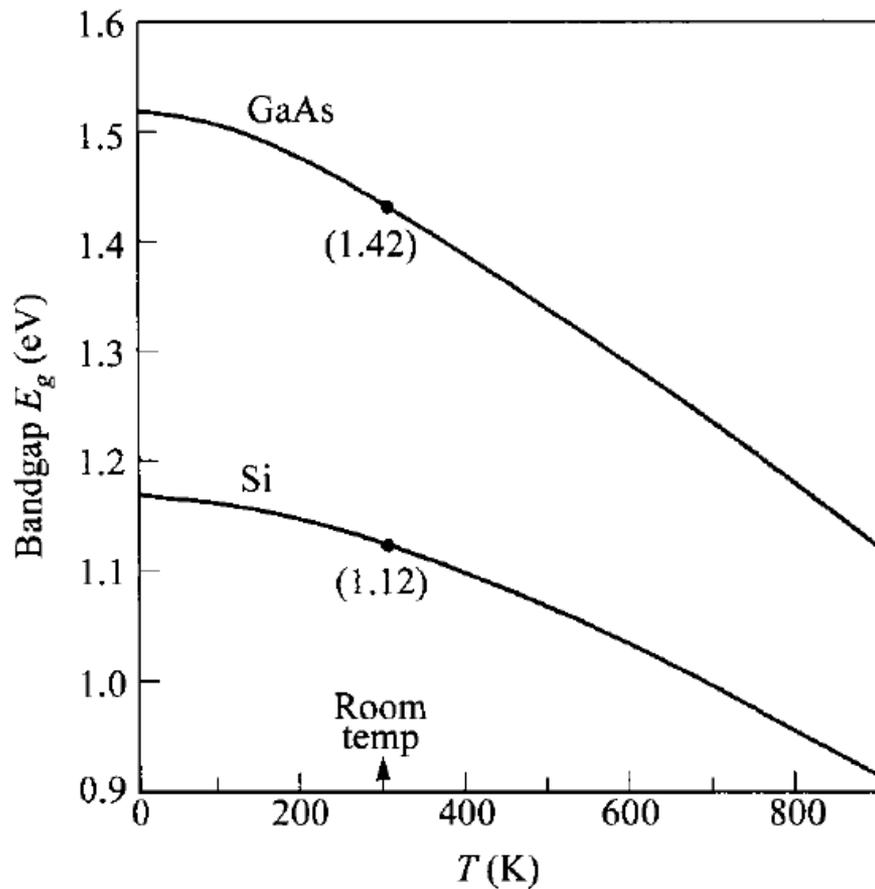
Groups 1...18 IUPAC 1989
Groups IA...VII...0 IUPAC 1970
Группы 1...18 ИЮПАК, 1989
Группы IA...VII...0 ИЮПАК, 1970

13	14	15	16	17
IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA
10.811	12.011	14.00674	15.9994	18.9984032
5 B	6 C	7 N	8 O	9 F
2s ² 2p ¹ 2210 -2600 2.04/2.01	2s ² 2p ² -3550 4827 2.55/2.50	2s ² 2p ³ -209.86 -182.9 3.04/3.07	2s ² 2p ⁴ -218.4 -182.96 3.44/3.50	2s ² 2p ⁵ -219.62 -188.11 3.98/4.10
Boron Бор Borium	Carbon Углерод Carbonium	Nitrogen Азот Nitrogenum	Oxygen Кислород Oxygenum	Fluorine Фтор Fluorum
26.981538	28.0855	30.973761	32.066	35.4527
13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl
3s ² 3p ¹ 660.37 2467 1.61/1.47	3s ² 3p ² 1412 2355 1.90/1.74	3s ² 3p ³ 44.14 280 2.19/2.06	3s ² 3p ⁴ 112.8 444.674 2.58/2.44	3s ² 3p ⁵ -100.98 -34.6 3.16/2.83
Aluminium [Aluminium] Алюминий	Silicon Кремний Silicium	Phosphorus Фосфор	Sulphur Сера (Sulfur)	Chlorine Хлор Chlorum

18	19	20	21	22
0	4.002602	20.1797	20.1797	20.1797
2 He	3 Li	4 Be	5 B	6 C
1s ² -272.2 -268.93	1s ² -259.14 -252.87 2.02/-	1s ² -259.14 -252.87 2.02/-	1s ² -259.14 -252.87 2.02/-	1s ² -259.14 -252.87 2.02/-
Helium Гелий	Lithium Литий	Beryllium Бериллий	Boron Бор Borium	Carbon Углерод Carbonium
12.3 eV				
20.1797	20.1797	20.1797	20.1797	20.1797
18 Ar	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti
3s ² 3p ⁶ -189.2 -185.7 7.7 eV				
Argon Аргон	Potassium Калий Kalium	Calcium Кальций	Scandium Скандий	Titanium Титан
39.948	39.948	39.948	39.948	39.948
18 Kr	19 Rb	20 Sr	21 Y	22 Zr
3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶ -156.6 -152.3 6.8 eV				
Krypton Криптон	Rubidium Рубидий	Strontium Стронций	Yttrium Иттрий	Zirconium Цирконий
83.80	83.80	83.80	83.80	83.80
36 Kr	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr
3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶ -156.6 -152.3 6.8 eV				
Krypton Криптон	Rubidium Рубидий	Strontium Стронций	Yttrium Иттрий	Zirconium Цирконий
83.80	83.80	83.80	83.80	83.80
36 Kr	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr
3d ¹⁰ 4s ² 4p ⁶ -156.6 -152.3 6.8 eV				
Krypton Криптон	Rubidium Рубидий	Strontium Стронций		

Подвижность

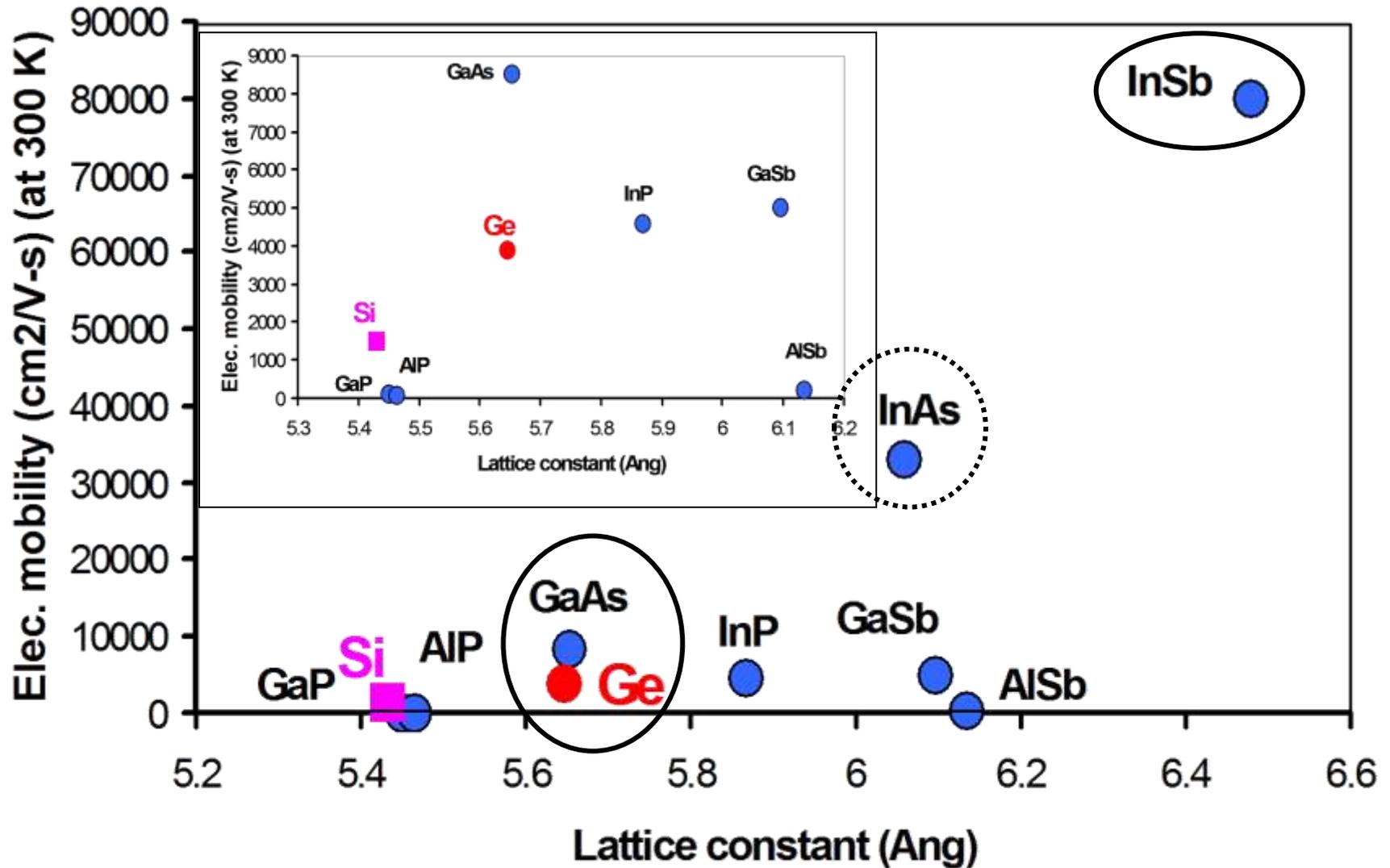
	Si	Ge	GaAs	InAs	InSb
Electron mobility ^{1,2} (cm ² / V·sec)	1 600	3 900	9 200	40 000	77 000
Hole mobility ^{1,2} (cm ² / V·sec)	450	1 900	400	500	850
Bandgap (eV)	1.12	0.66	1.42	0.36	0.17



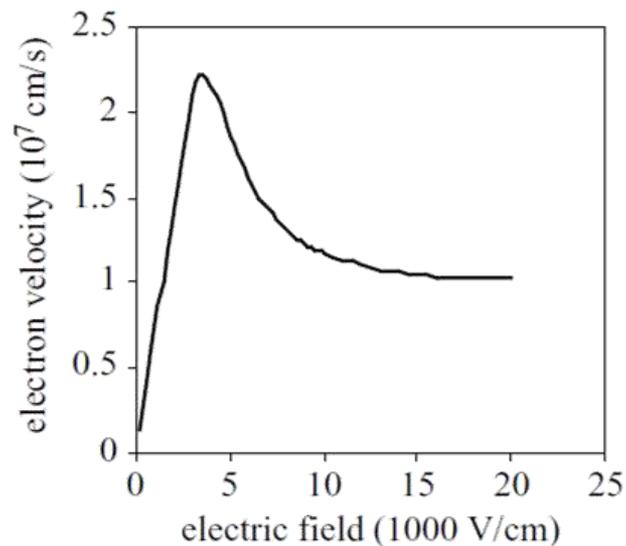
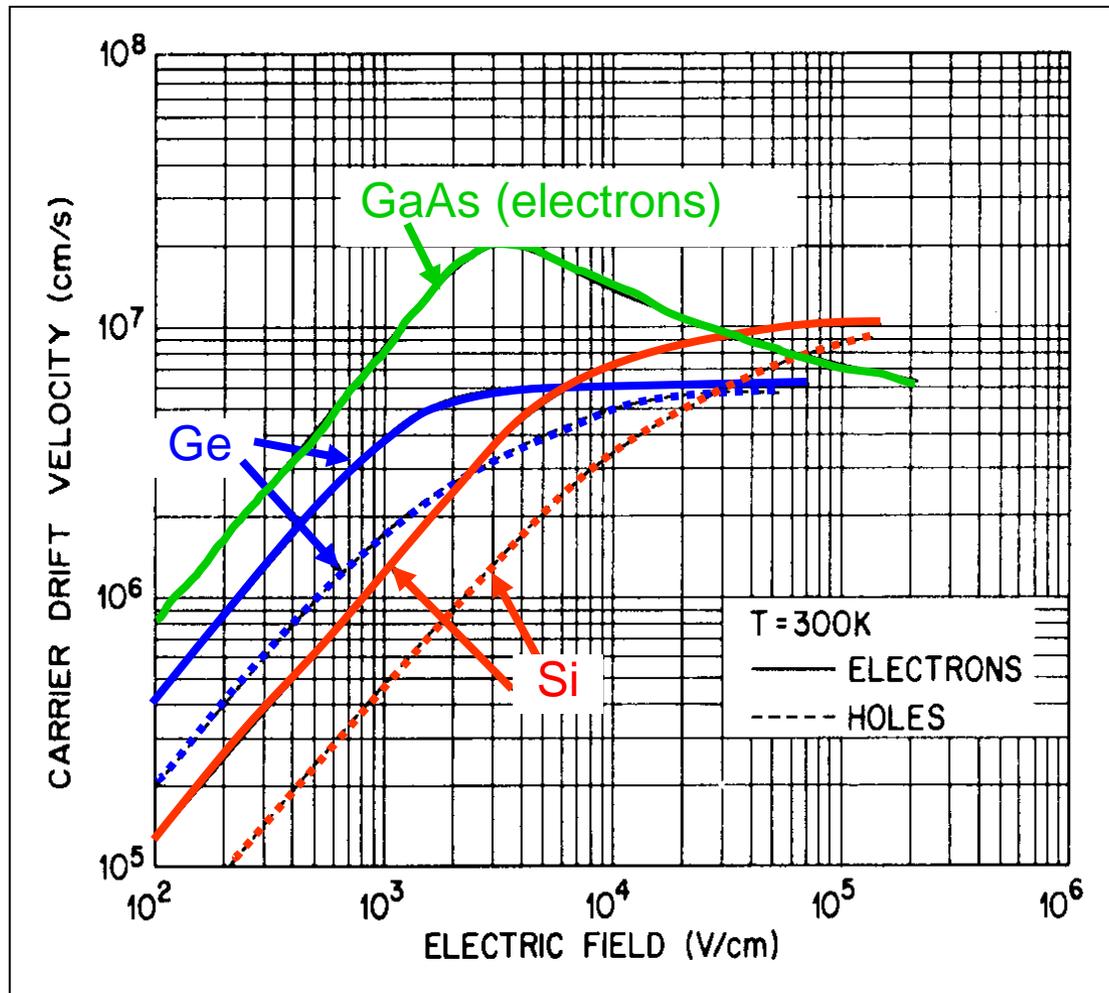
	$E_g(0)$ (eV)	α (eV/K)	β (K)
GaAs	1.519	5.4×10^{-4}	204
Si	1.169	4.9×10^{-4}	655

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

Подвижность



Дрейфовая скорость электронов

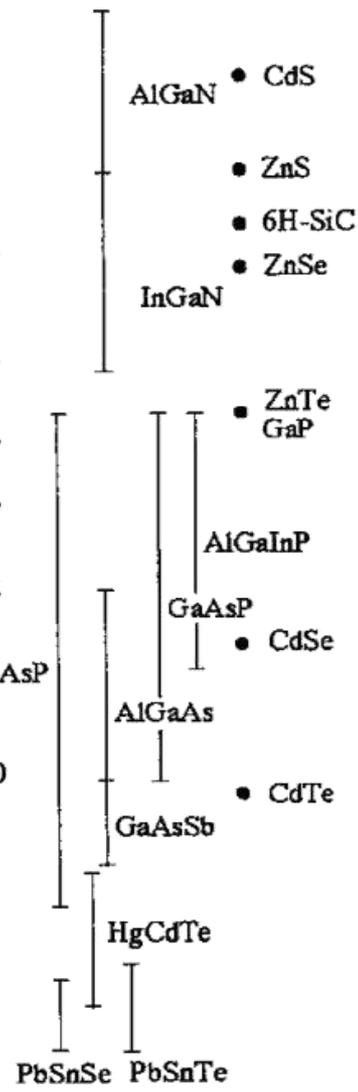
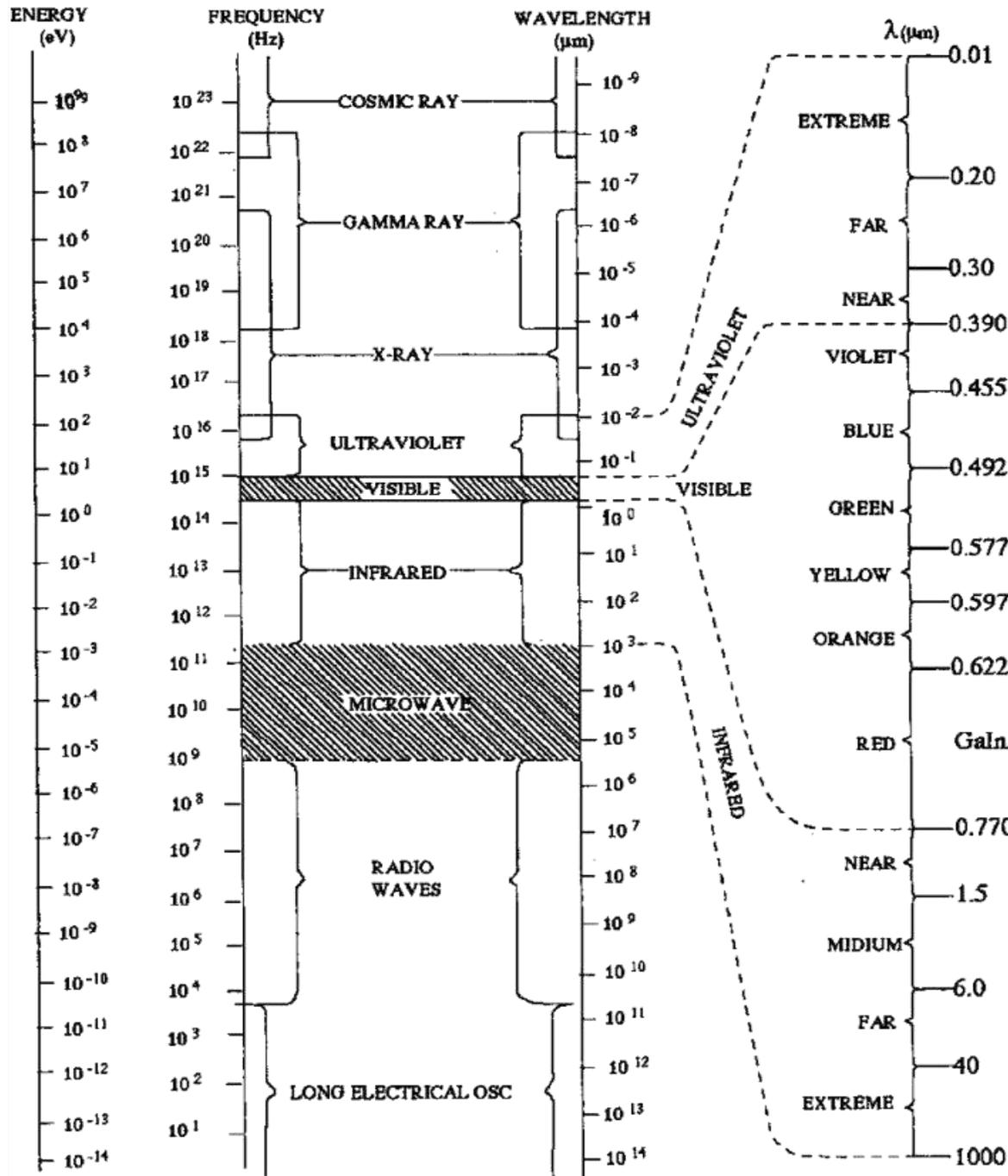


Область отрицательной дифференциальной проводимости в GaAs

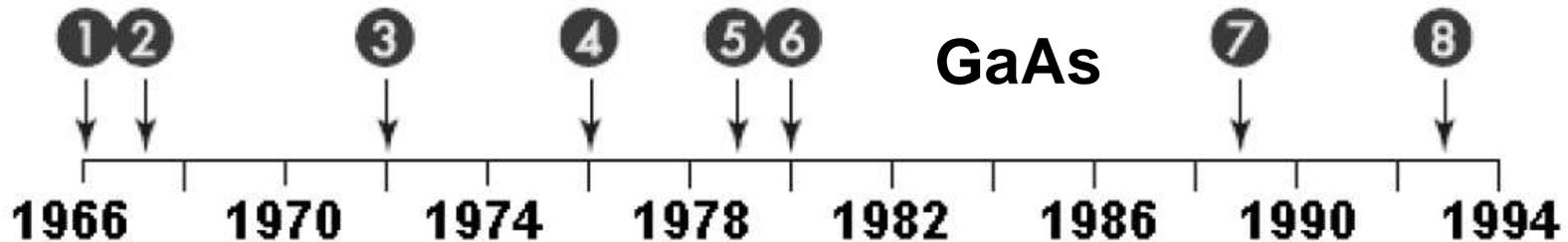
Область применения

<i>полупр.</i>	<i>вид E_g, эВ (300К)</i>	<i>область применения и особенности</i>
AlP	н 2.45	Светодиоды (используется в соединениях). Реагирует с водой.
AlAs	н 2.163	Свето- и фотодиоды, лазеры. Реагирует с водой, ядовит.
AlSb	н. 1.58	Солнечные батареи.
GaP	н. 2.261	Светодиоды. Относительно быстрая деградация световой эмиссии при высоких плотностях протекающего тока или повышенной температуре.
GaAs	п. 1.424	СВЧ интегральные схемы и транзисторы, светодиоды, диоды Ганна, фотоприёмники и солнечные элементы, детекторы ядерных излучений, лазерные диоды. Высокая радиационная стойкость, имеются сложности и ограничения в технологии производства приборов.
GaSb	п. 0.726	Свето- и фотодиоды на ИК-диапазон, туннельные диоды, сенсоры газов. Невысокая подвижность носителей.
InP	п. 1.351	СВЧ-транзисторы, диоды Ганна, свето- и фотодиоды на ИК-диапазон. Высокая плотность дислокаций.
InAs	п. 0.36	СВЧ-транзисторы, свето- и фотодиоды на ИК-область.
InSb	п. 0.172	Инфракрасные фотодатчики (в т.ч. военного назначения), тепловизоры, холловские датчики, СВЧ-транзисторы. Приборы требуют глубокого охлаждения.

Устройства оптоэлектроники

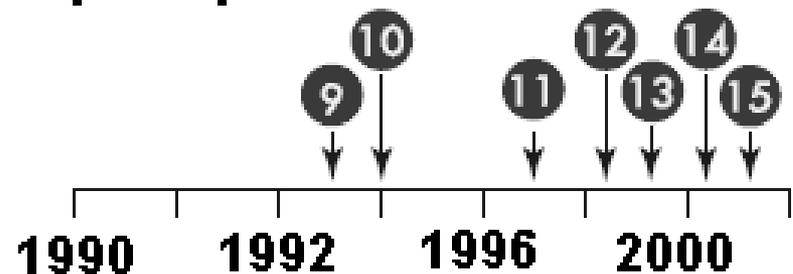


История развития GaAs и GaN



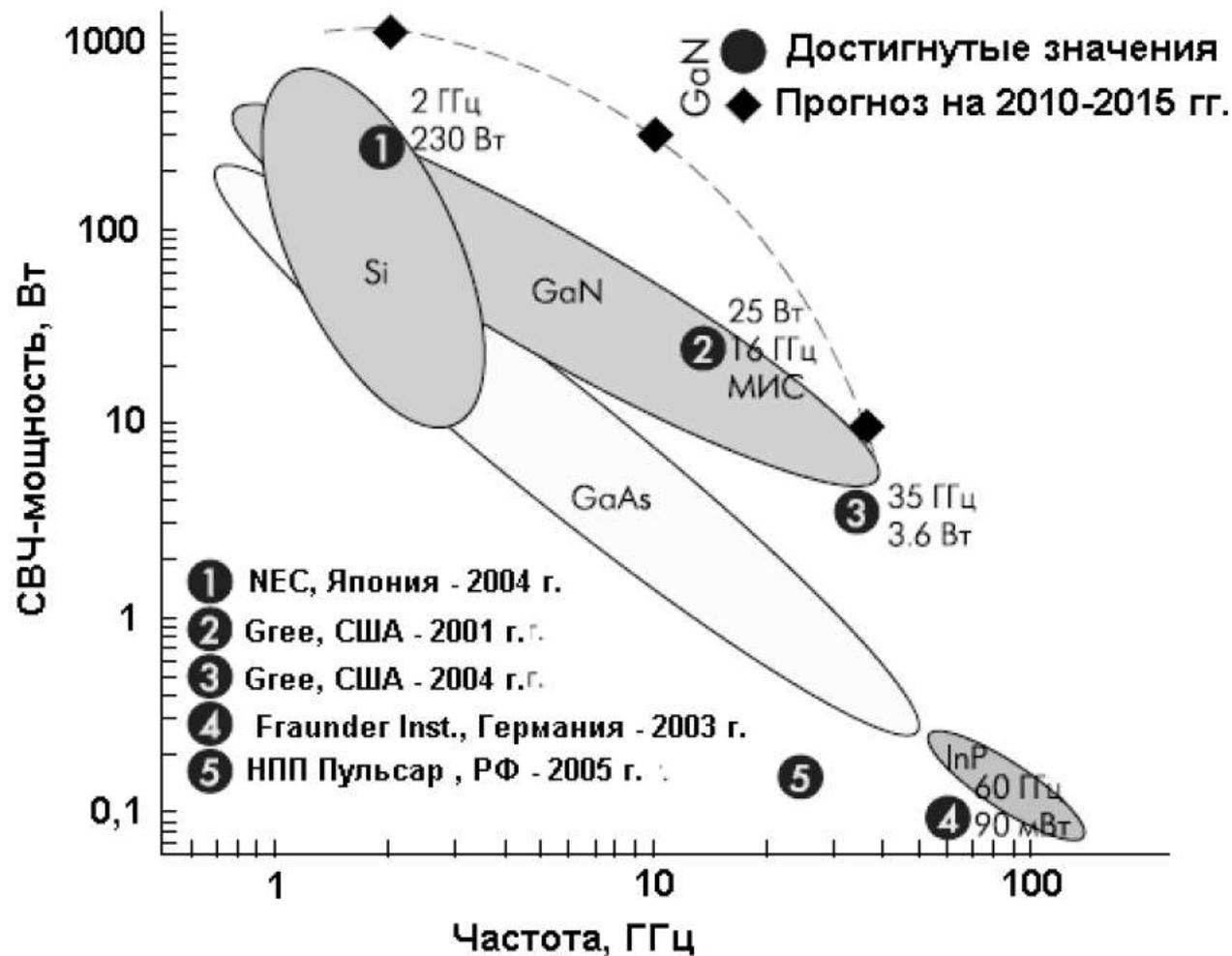
- 1 – первые InAs, GaAs ПТШ (**MESFET, NSMOSFET**)
- 2 – первый ПТШ СВЧ-диапазона
- 3 – первый усилитель X-диапазона (от 8 до 12 ГГц)
- 4 – первая СВЧ ИС X-диапазона
- 5 – 400 мВт СВЧ ИС X-диапазона
- 6 – первый ГПТШ (**HEMT**)
- 7 – СВЧ ИС с к.п.д. > 30%
- 8 – 5-10 Вт СВЧ ИС на ГПТШ

GaN-приборы



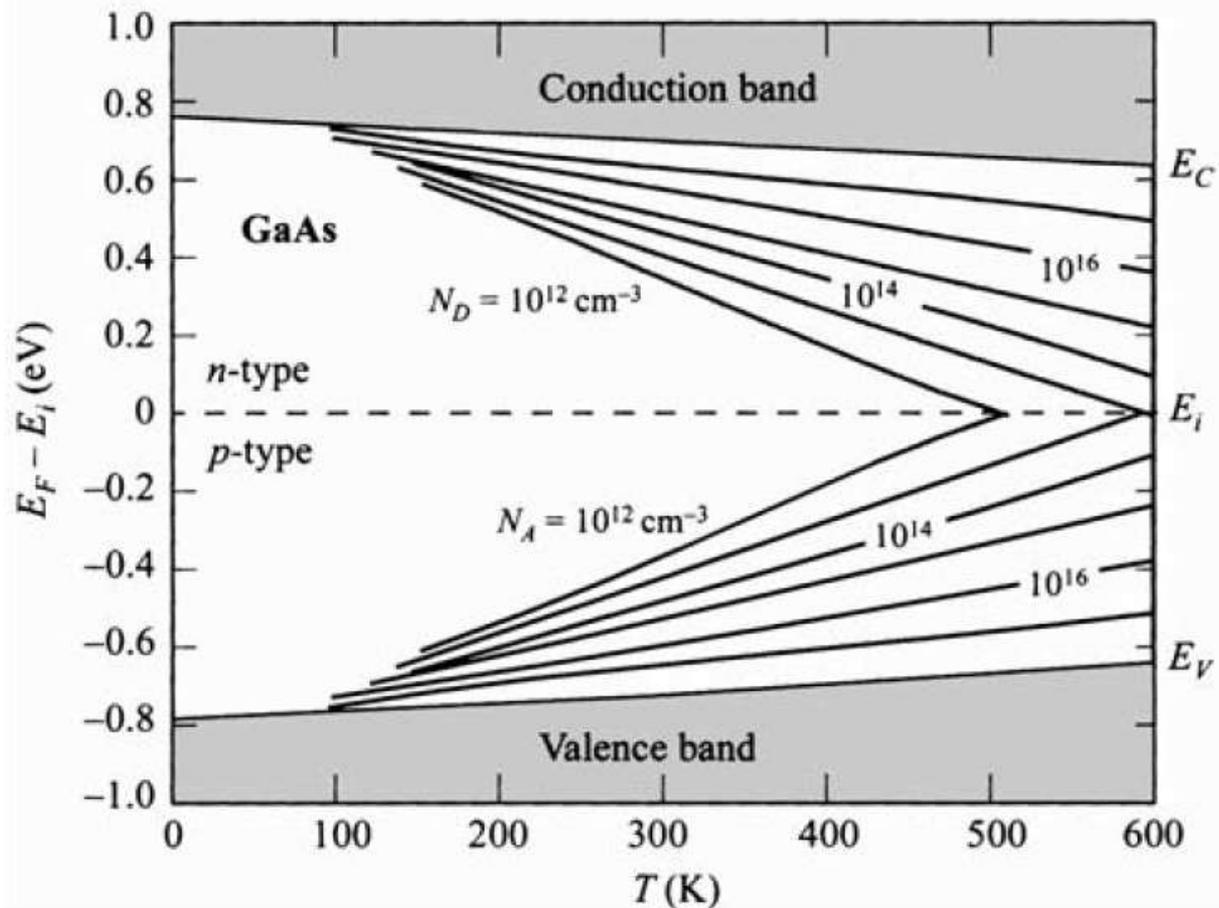
- 9 – первые GaN ПТШ
- 10 – первые ПТШ и ГПТШ СВЧ-диапазона
- 11 – 1.4 Вт ГПТШ на 4 ГГц
- 12 – 9 Вт ГПТШ на 7.5 ГГц
- 13 – первый GaN усилитель СВЧ на ГПТШ
- 14 – 51 Вт ГПТШ на 6 ГГц
- 15 – первая СВЧ ИС на ГПТШ

Практически полезные свойства



f, ГГц	2	10	30	35	60
Мощность, Вт	170	14	3,6	3,5	0,09
Ширина затвора, мм	25–30	1–1,5	1,05	1,05	0,18
Материал подложки	SiC	SiC	SiC	SiC	SiC
Фирма	NEC, Fujitsu	NEC	Cree Lighting	Cree Lighting	Fraunhofer Inst.

Положение уровня Ферми (GaAs)

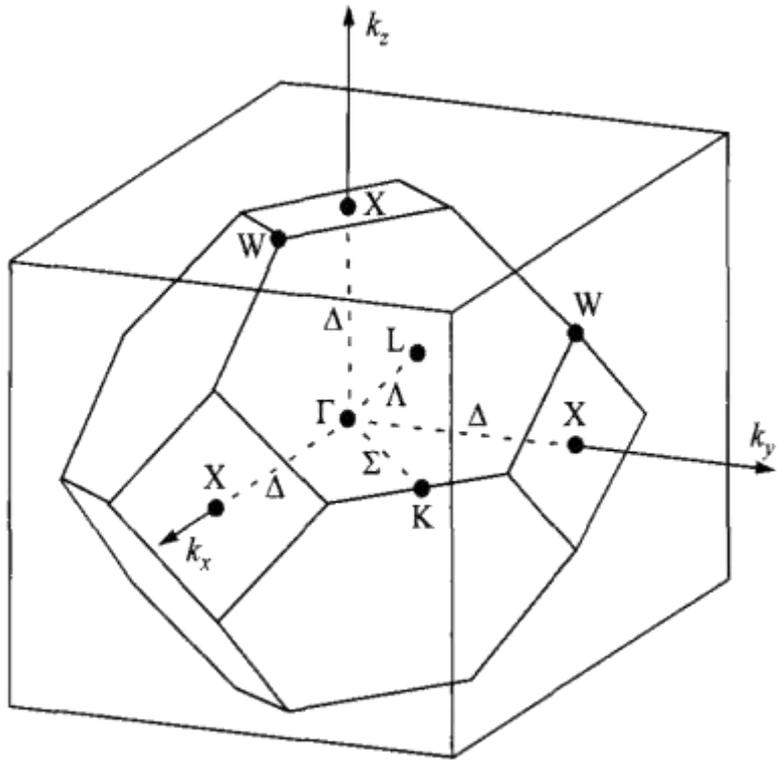


Доноры: кремний, германий, олово.

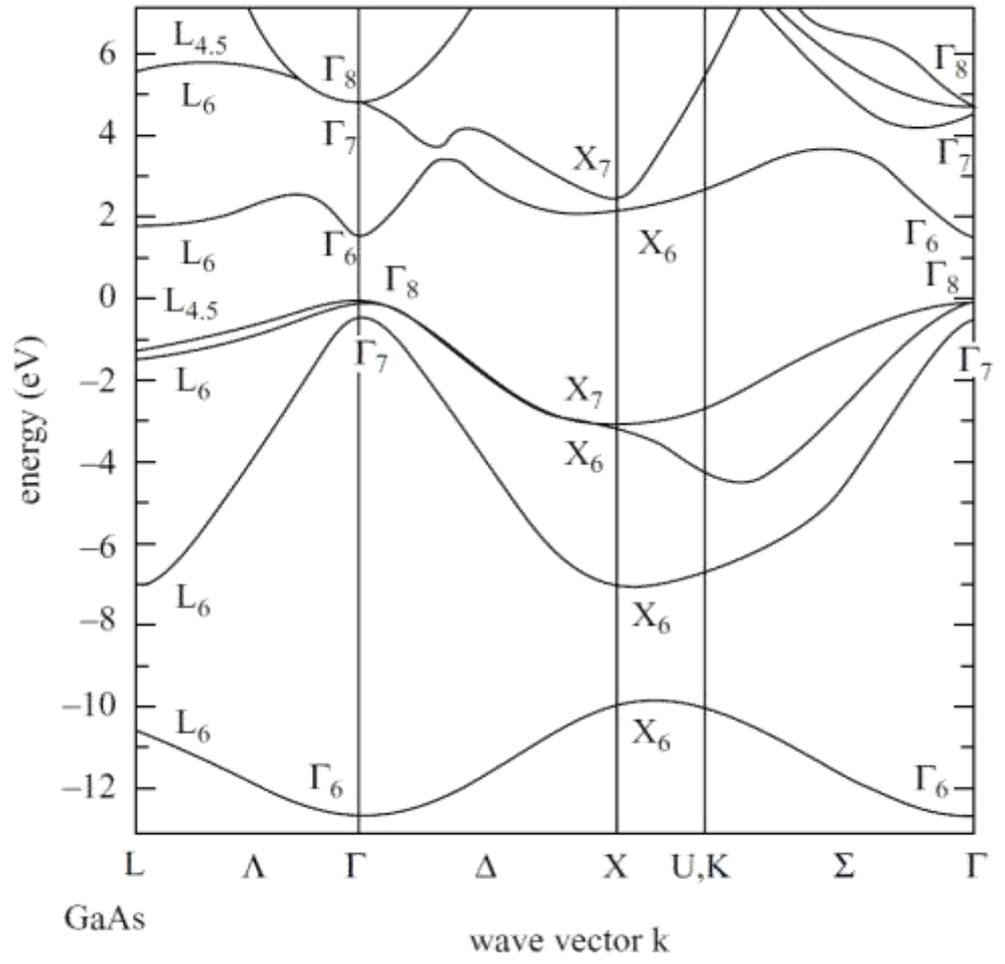
Акцептор: бериллий.

Подвижность в легированном GaAs составляет:
3500 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ при уровне легирования 10^{17} cm^{-3} ,
300 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ при уровне легирования 10^{19} cm^{-3} .

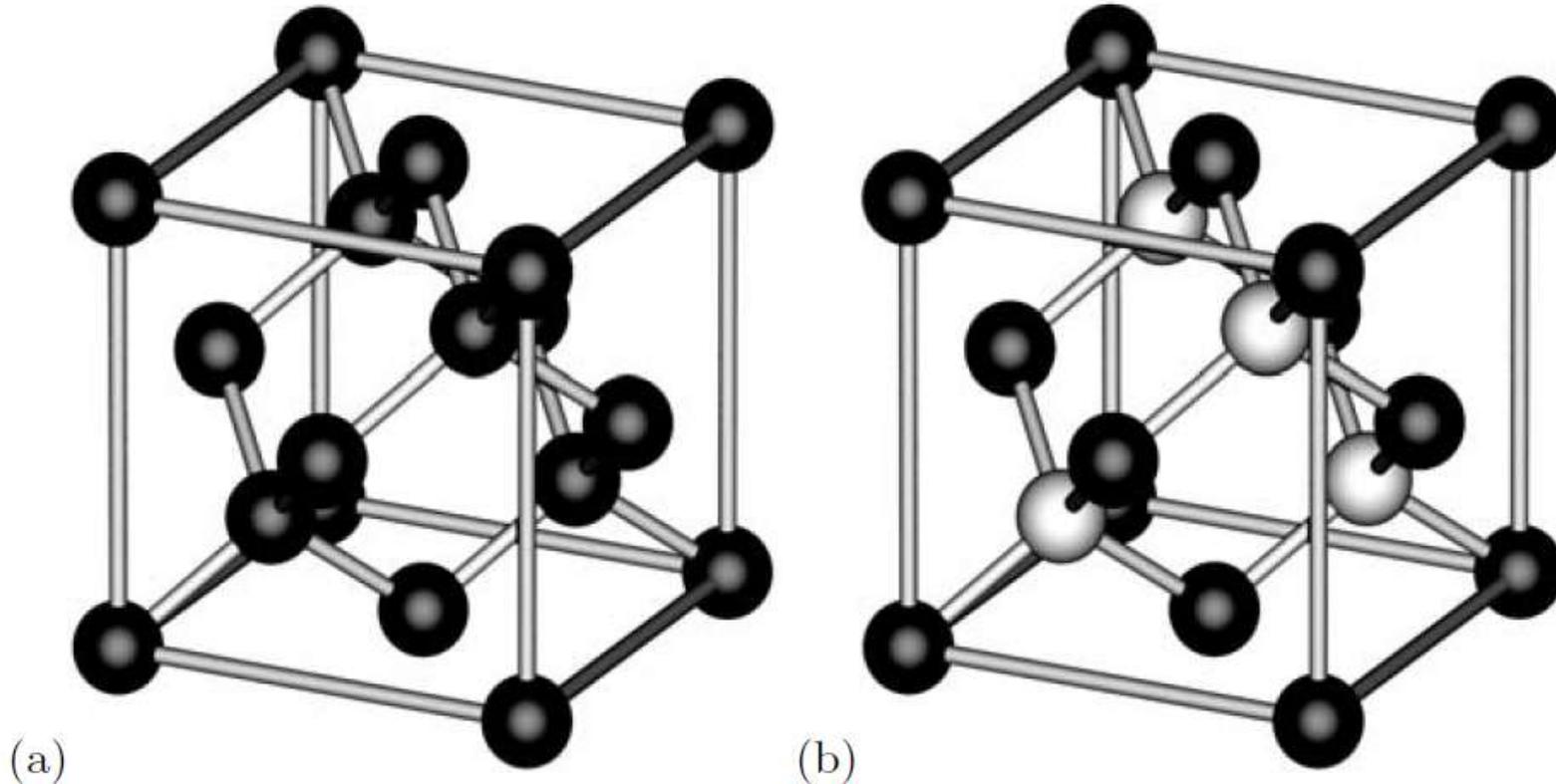
Структура энергетических зон



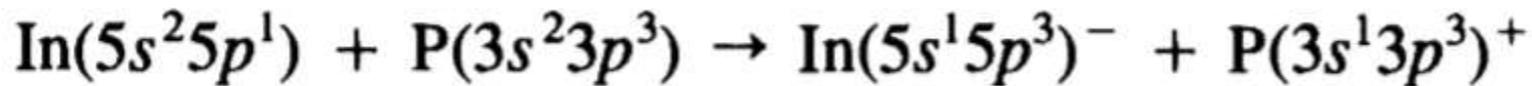
Зона Бриллюэна для решётки типа цинковой обманки



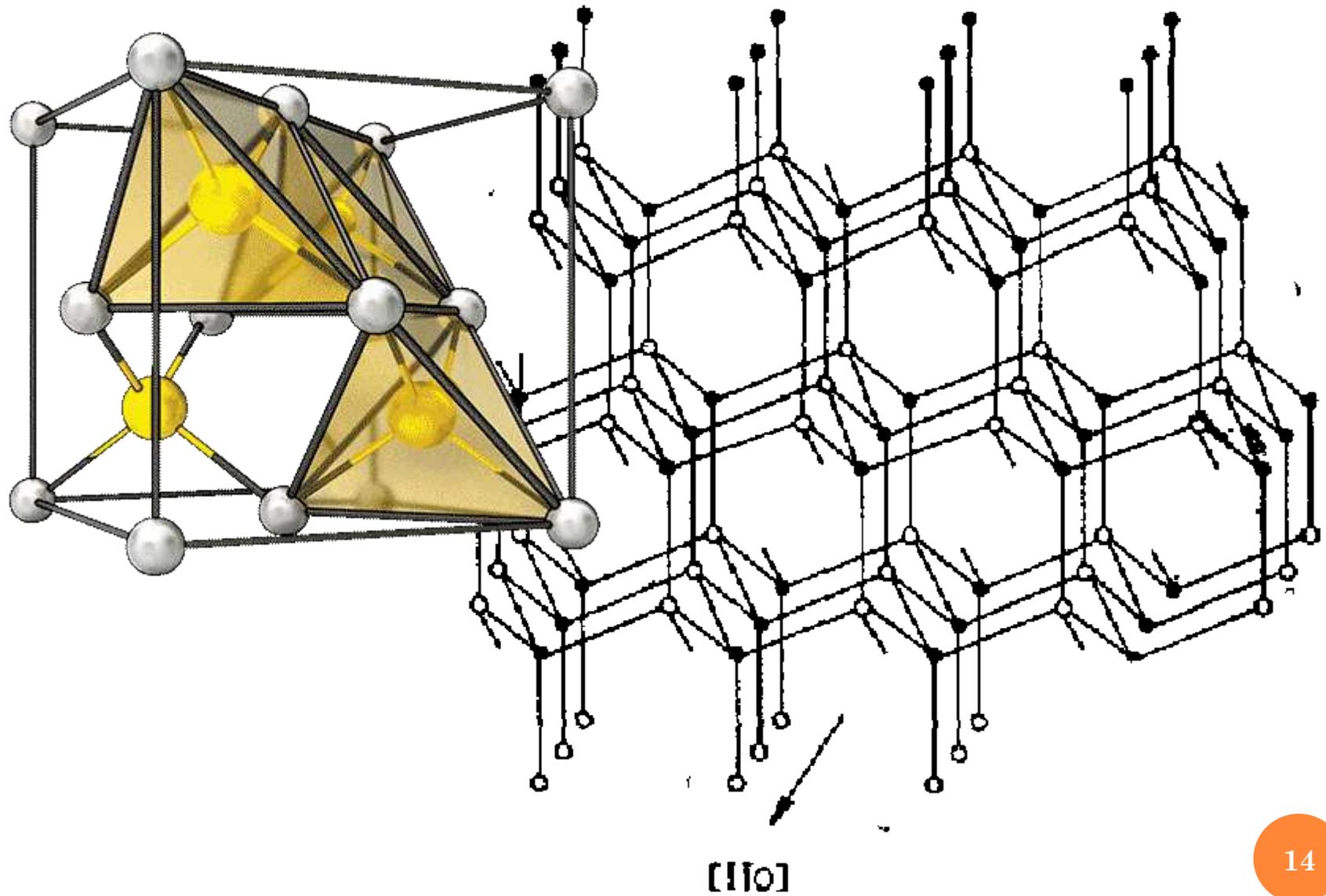
Кристаллическая структура



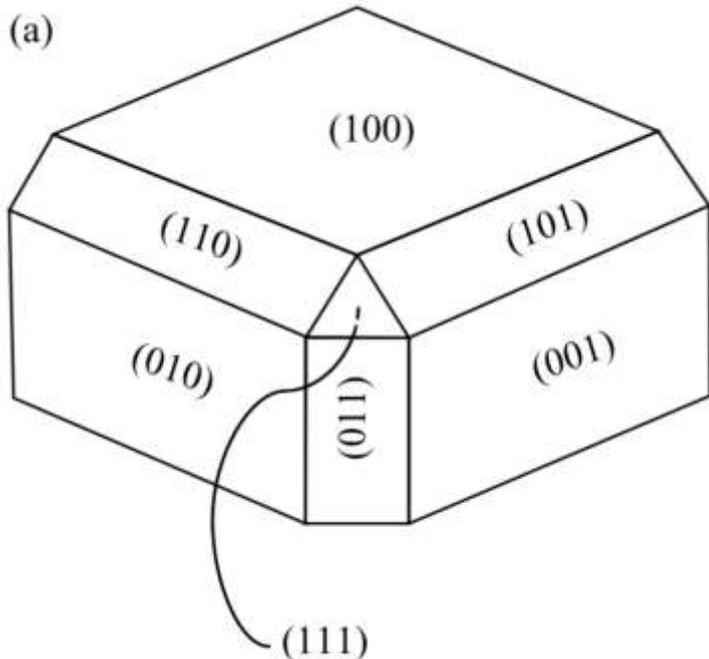
Кристаллическая решётка алмаза (а) и цинковой обманки (б).
Электронная конфигурация для III – s^2p^1 , для V – s^2p^3 (т.е. в среднем 4 валентных электрона на атом для создания связей)



Структура



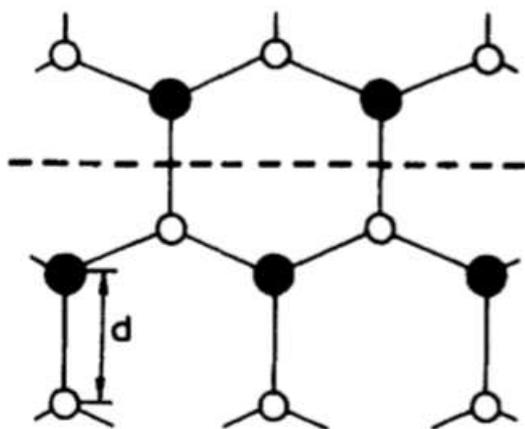
Структура



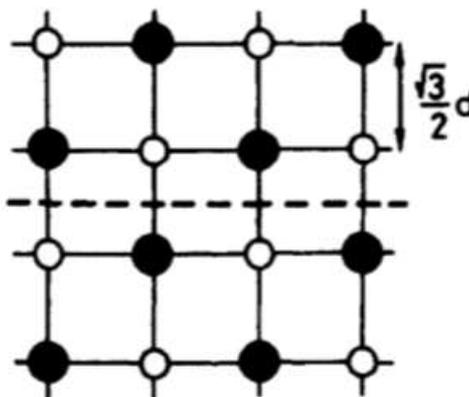
а) способ задания кристаллографических плоскостей

Срезы по основным кристаллографическим плоскостям.

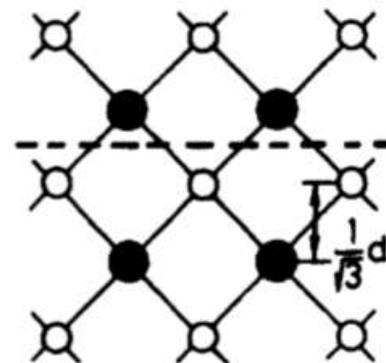
Чёрная точка – In, белая - Р



(111)



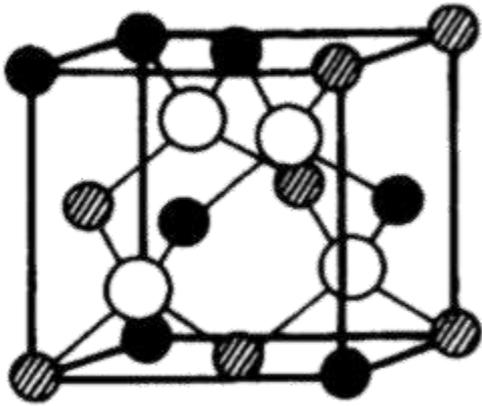
(110)



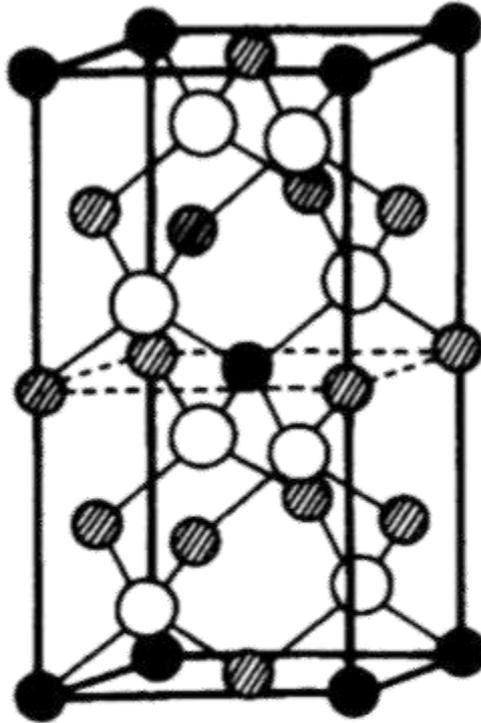
(100)

Соединения: структура

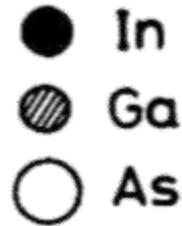
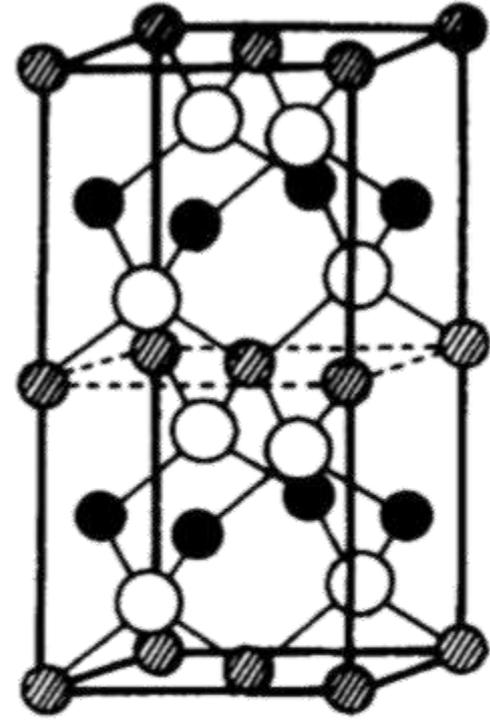
(a) disordered



(b) famatinite

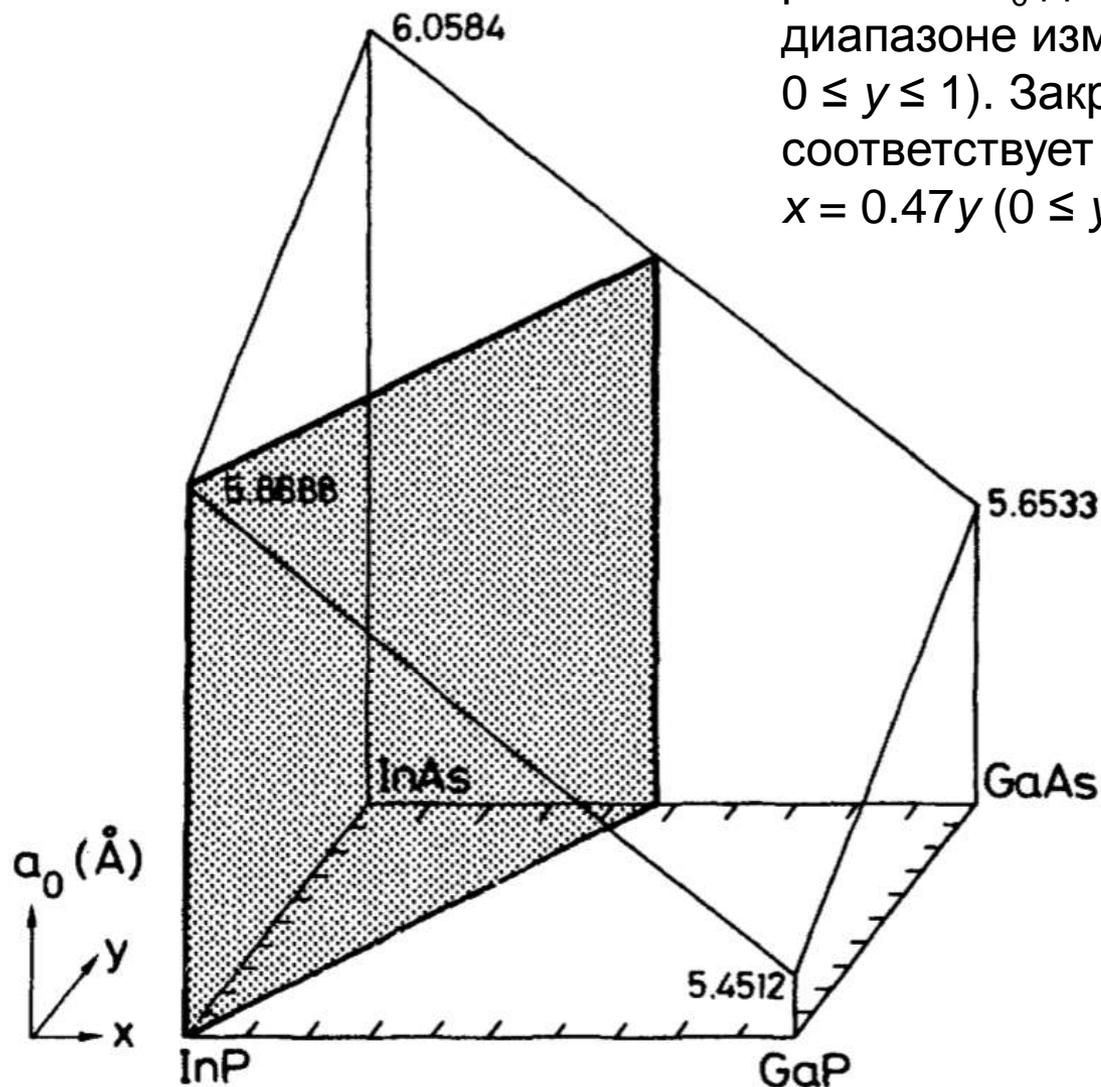


(c) layered tetragonal

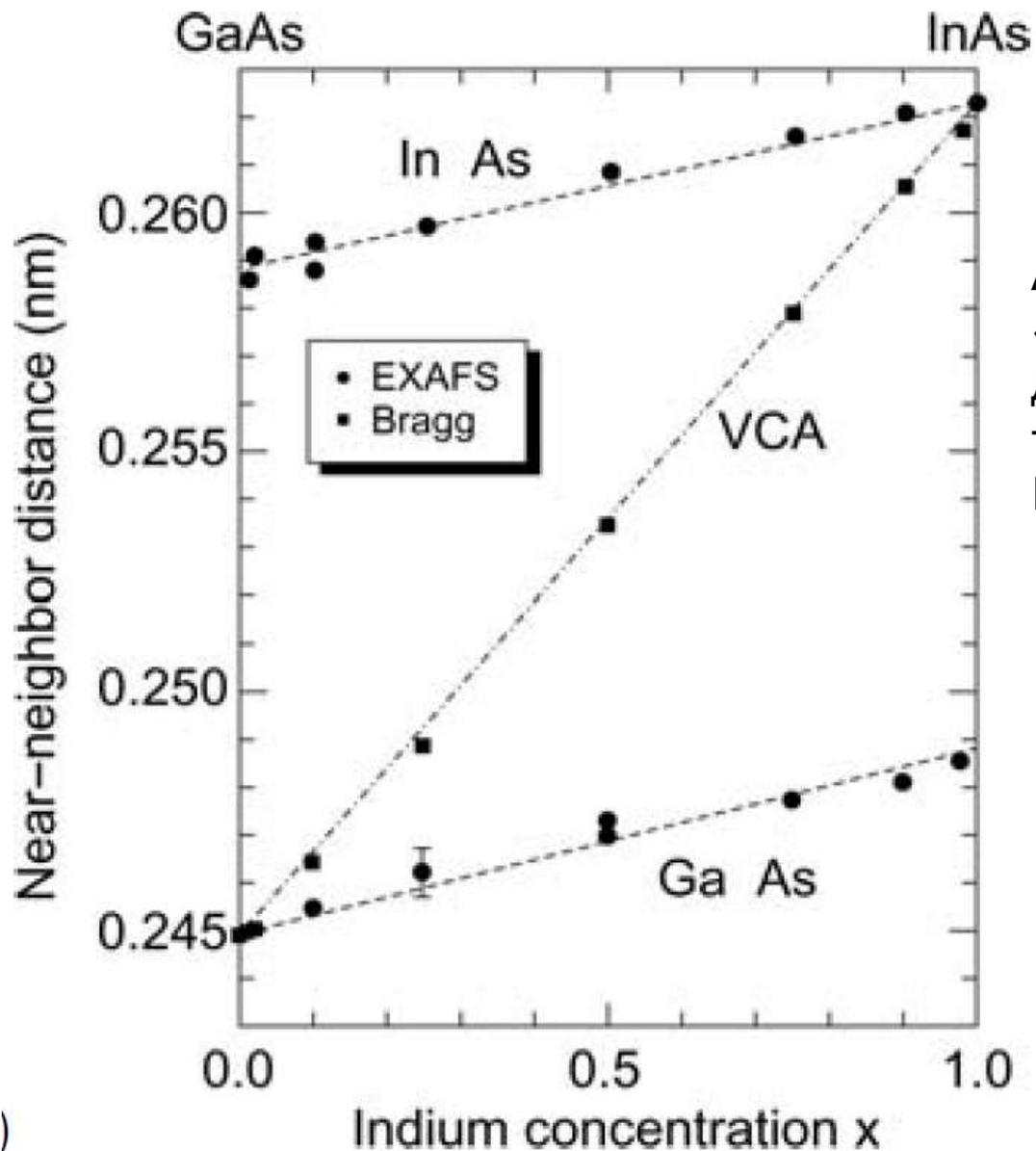


Соединения: структура

Трёхмерное представление постоянной решётки a_0 для $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ во всём диапазоне изменения состава ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$). Закрашенный прямоугольник соответствует a_0 , характерной для InP : $x = 0.47y$ ($0 \leq y \leq 1$).

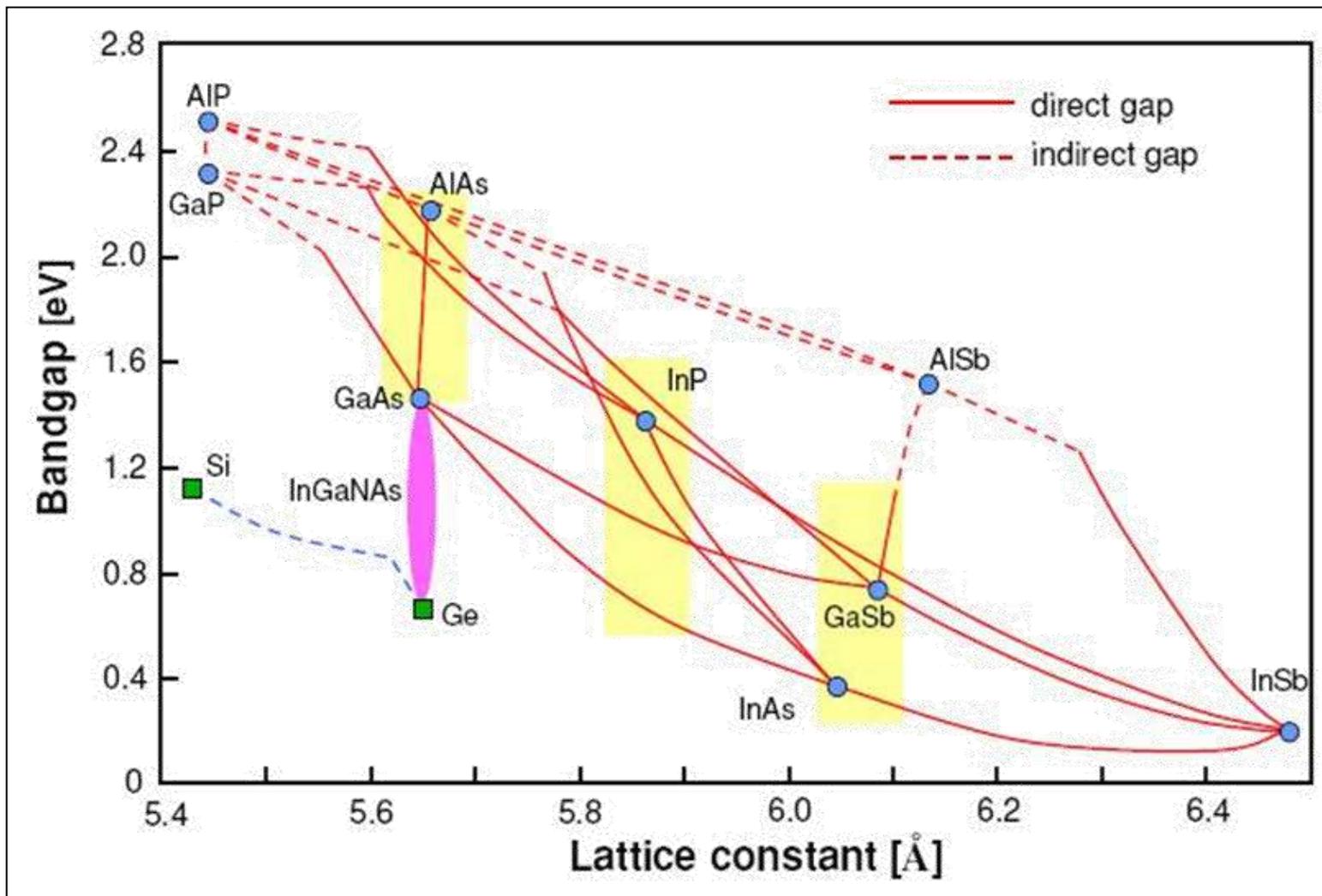


Соединения: структура



Аппроксимация «виртуального кристалла» для разупорядоченного тройного соединения $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$

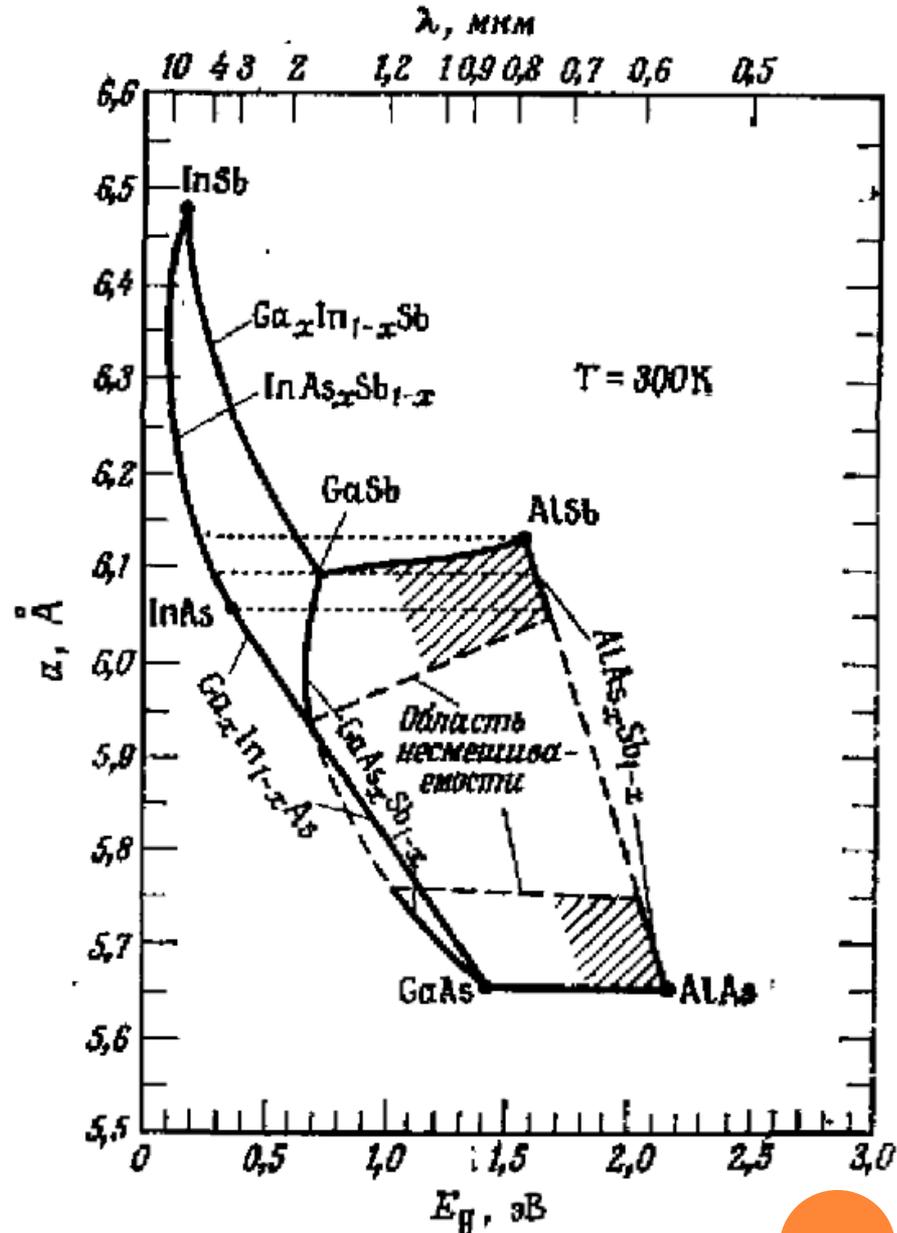
Соединения: ширина запрещённой зоны и период решётки



Ширина запрещённой зоны для представителей группы III-V и их соединений. Постоянные кристаллических решеток AlAs и GaAs достаточно близки.

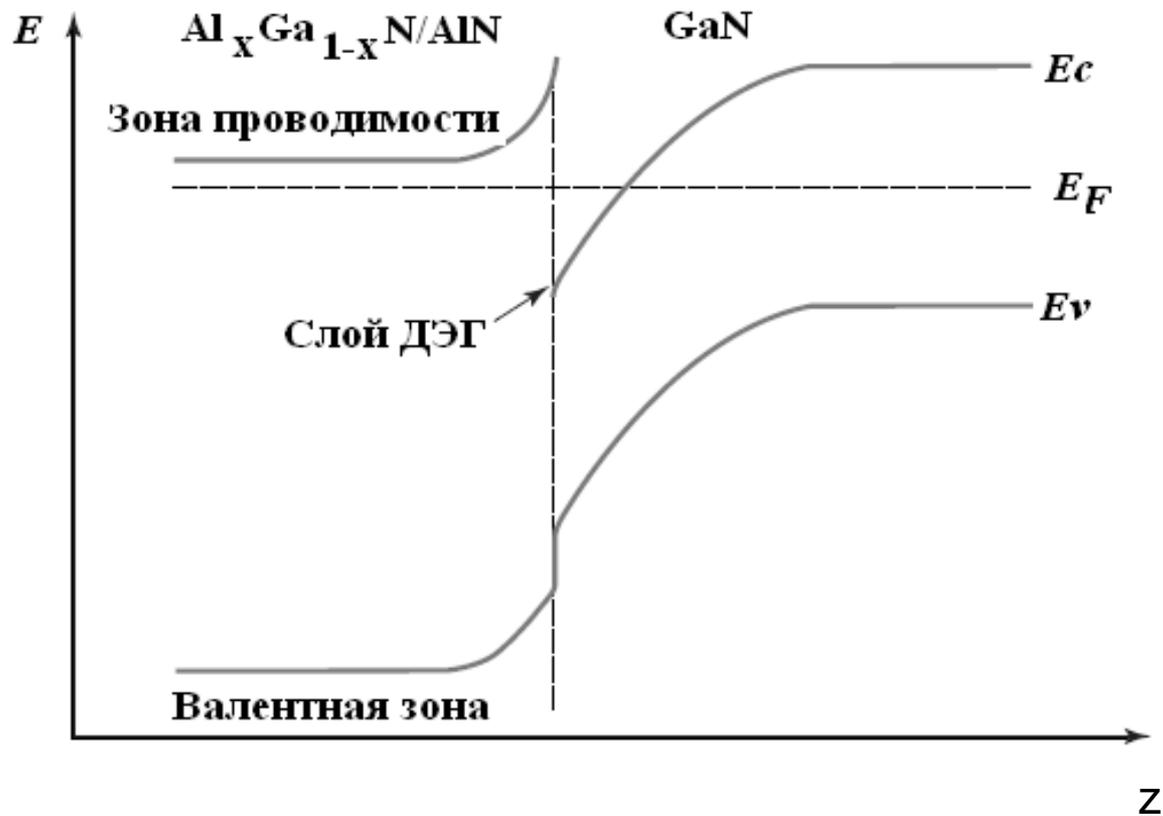
Соединения: ширина запрещённой зоны и период решётки

Соединение	Энергетический зазор в прямом минимуме E_g , эВ
$Al_xIn_{1-x}P$	$1,351 + 2,23x$
$Al_xGa_{1-x}As$	$1,424 + 1,247x^{**}$
	$1,424 + 1,247x + 1,147 \times (x - 0,45)^{2***}$
$Al_xIn_{1-x}As$	$0,360 + 2,012x + 0,698x^2$
$Al_xGa_{1-x}Sb$	$0,726 + 1,129x + 0,368x^2$
$Al_xIn_{1-x}Sb$	$0,172 + 1,621x + 0,43x^2$
$Ga_xIn_{1-x}P$	$1,351 + 0,643x + 0,786x^2$
$Ga_xIn_{1-x}As$	$0,36 + 1,064x$
$Ga_xIn_{1-x}Sb$	$0,172 + 0,139x + 0,415x^2$
GaP_xAs_{1-x}	$1,424 + 1,150x + 0,176x^2$
$GaAs_xSb_{1-x}$	$0,726 - 0,502x + 1,2x^2$
InP_xAs_{1-x}	$0,360 + 0,891x + 0,101x^2$
$InAs_xSb_{1-x}$	$0,18 - 0,41x + 0,58x^2$



Тройные соединения A^3B^5 .
Области непрямоугольных составов заштрихованы.

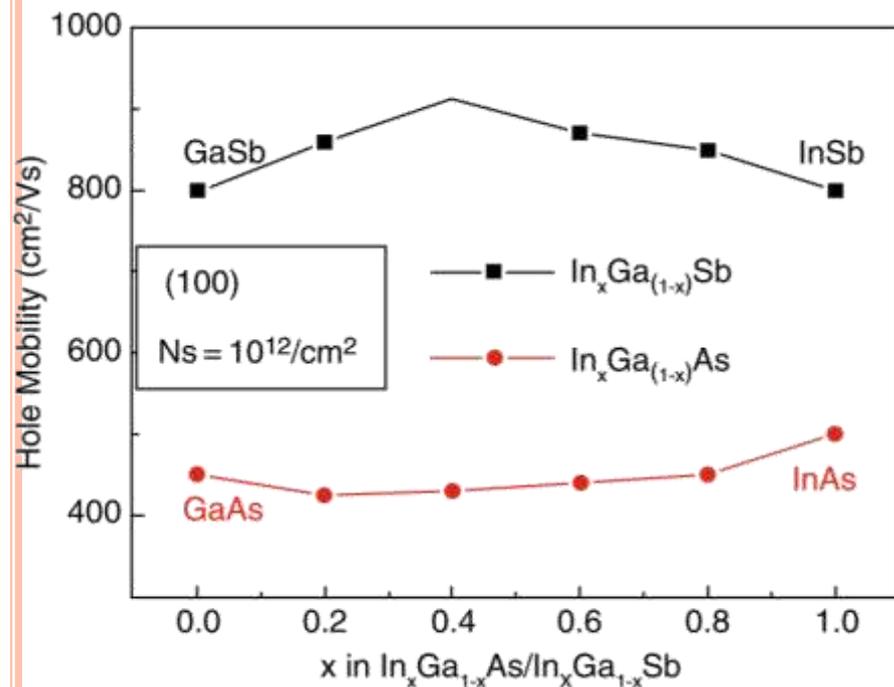
Соединения: гетеропереходы



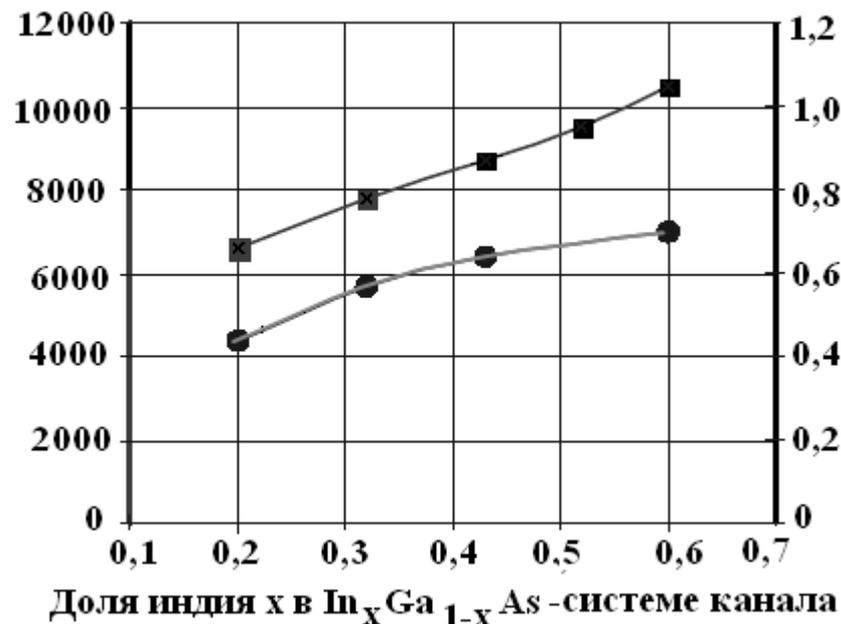
Формирование потенциальной ямы и слоя двумерного электронного газа в области гетероперехода $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N} / \text{GaN}$

Соединения: гетеропереходы

Эмиттер- база	ΔE_c , эВ	ΔE_v , эВ	ΔE_g , эВ
$\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As} - \text{GaAs}$	0,24	0,13	0,37
$\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}\text{P} - \text{GaAs}$	0,19	0,29	0,48
$\text{InP} - \text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$	0,25	0,34	0,59



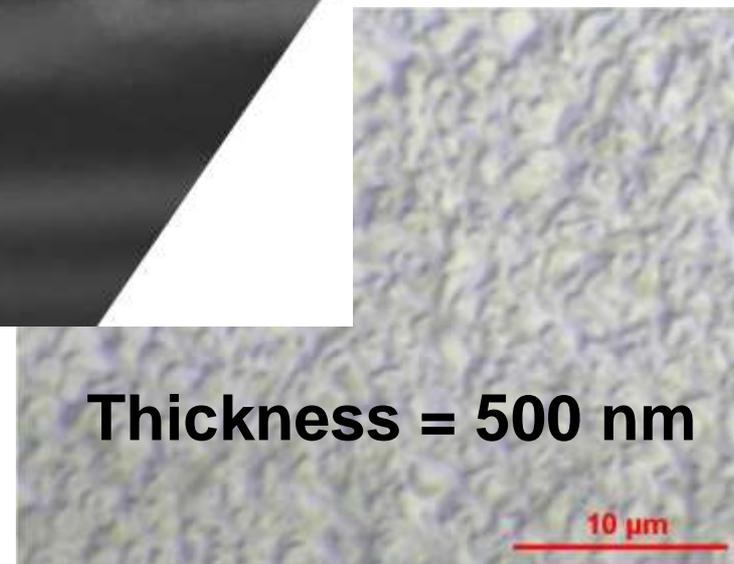
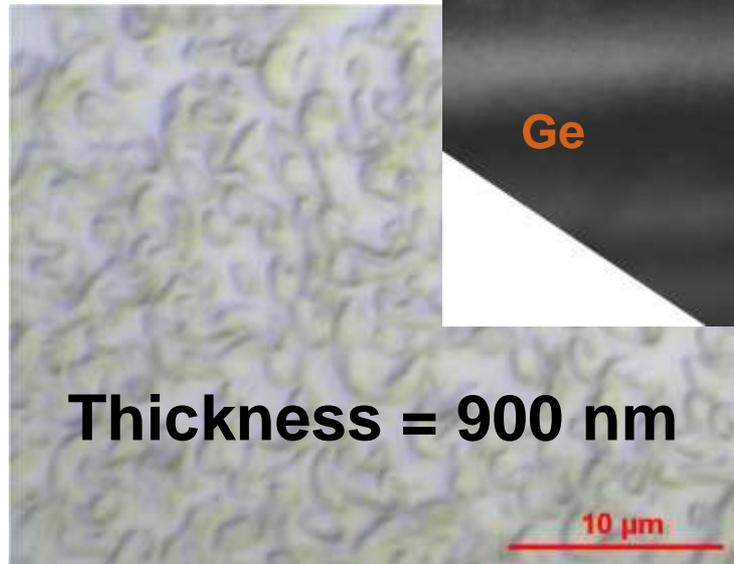
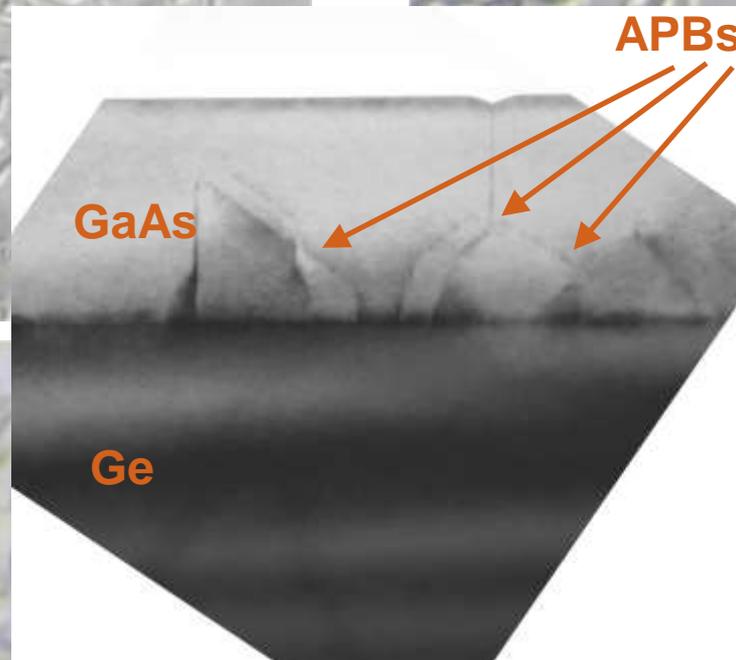
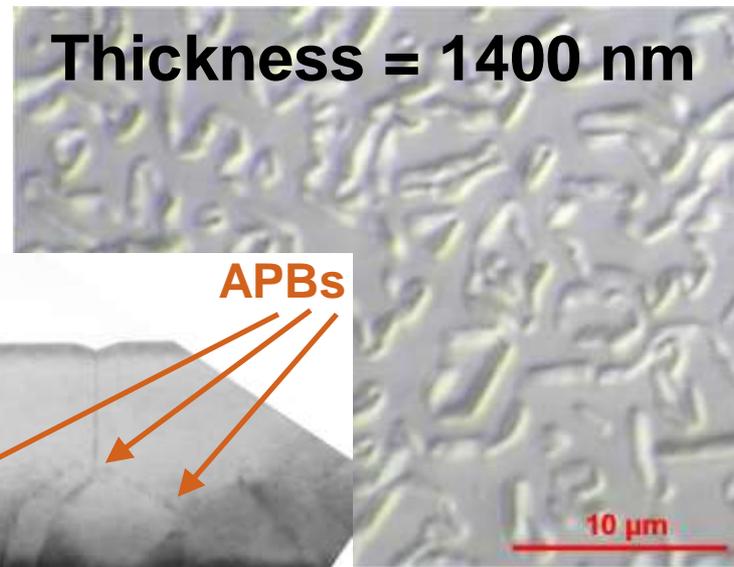
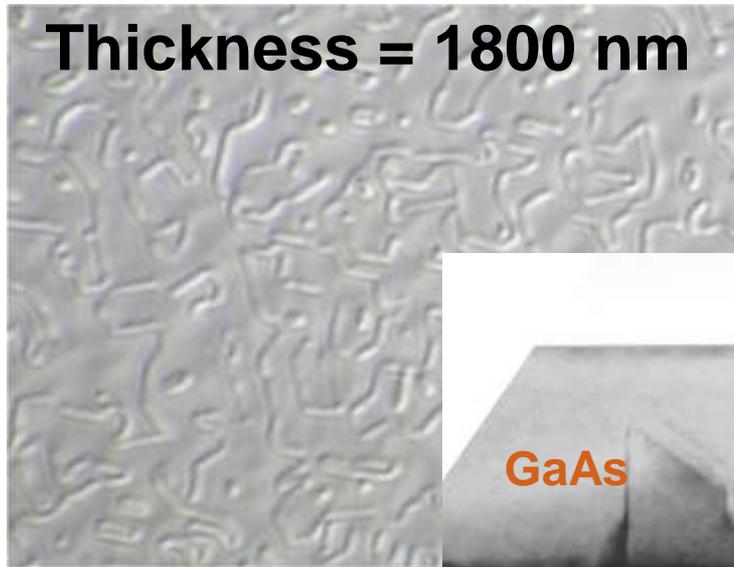
Подвижность электронов, $\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{с})$



Разрыв зоны проводимости, эВ

Антифазные домены

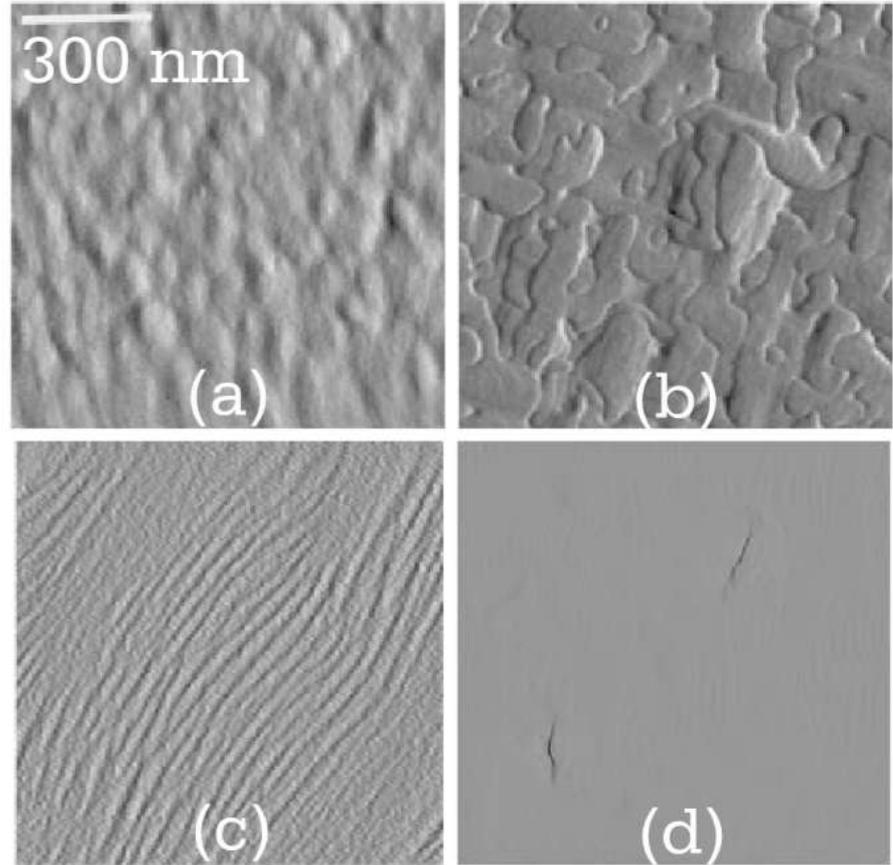
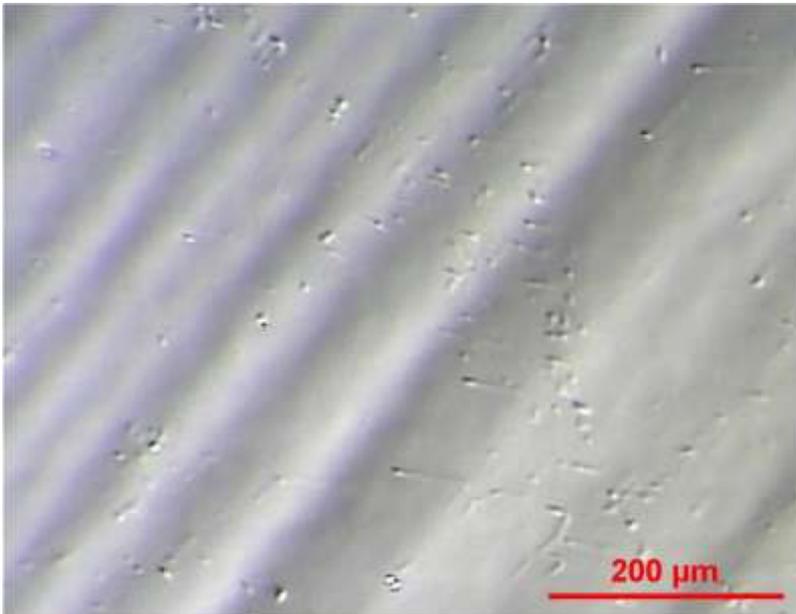
Рост плёнки GaAs на Ge подложке



... и другие дефекты

Изображения со сканирующего атомно-силового микроскопа, иллюстрирующие различную морфологию эпитаксиальных слоёв GaAs, выращенных на Ge подложке.

микроскоп Номарского (ДИК)
плотность дефектов $\sim 5 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-2}$



Выводы:

Преимущества	Недостатки
GaAs	
1. Высокая подвижность электронов при более широкой, чем у Si и Ge, запрещённой зоне	1. Низкая теплопроводность
2. Возможность создания <i>соединений</i> для формирования гетеропереходов	2. Низкая механическая прочность
3. Высокая радиационная стойкость	3. Сложность устранения антифазных доменов, высокая плотность дислокаций
GaN	
1. Высокая подвижность электронов при очень широкой запрещённой зоне	1. Сложность использования Si подложки (разные параметры решётки и к.т.р.)
2. Максимально высокая плотность выходной мощности (в расчёте на габариты устройства в 10-15 раз больше чем у кремниевых)	2. Нестабильность электрических характеристик устройств (коллапс тока) в связи с высокой плотностью дефектов
3. Максимально высокая рабочая температура (в пределе до 600 °C)	
4. Низкий уровень шумов	

aspire invent achieve

<http://www.pulsarnpp.ru/>

