

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

# Физические основы элементной базы электронно-вычислительных систем

Кафедра Интегральной электроники и микросистем

Лектор: Козлов Антон Викторович

# Напопительная балльная система по курсу КБ ЭВС

Приложение 1 (заполняется кафедрой и передается в ИОУП)

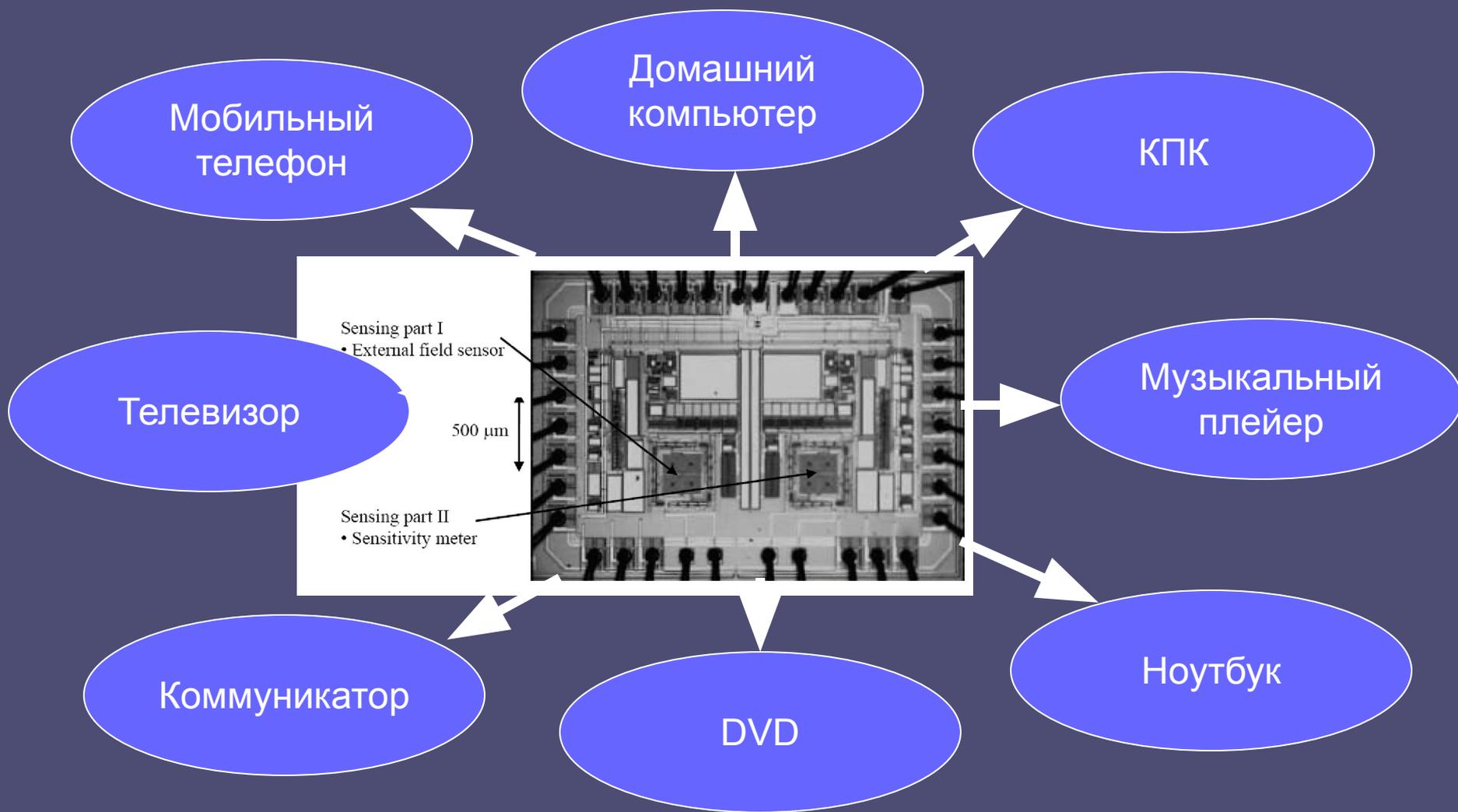
Структура и график контрольных мероприятий учебной дисциплины Компонентная база ЭВС

кафедры ИЭМС

Факультет Вечерний Курс 2 Группы 21-22 Учебный год 2012-13 Семестр 1

Номер отчета	Учебная неделя																	Сумма баллов	Сумма баллов в семестре	Балл на итоговом контроле (зачете)		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17					
Отчет 1		T1		T2		T3																
максимальный балл		5		5		5															15	
минимальный положительный балл		3		3		3															9	
максимальный балл за посещаемость, активность на занятиях и т.д. за текущий период																		15				
минимальный положительный балл за посещаемость, активность на занятиях и т.д. за текущий период																		7				
Отчет 2		T1		T2		T3		T4		T5	ПК											
максимальный балл		5		5		5		5		5	5											30
минимальный положительный балл		3		3		3		3		3	3											18
максимальный балл за посещаемость, активность на занятиях и т.д. за текущий период																		15				
минимальный положительный балл за посещаемость, активность на занятиях и т.д. за текущий период																		7				
Отчет 3		T1		T2		T3		T4		T5	ПК	T6		T7		T8						
максимальный балл		5		5		5		5		5	5	5	5	5		5					45	
минимальный положительный балл		3		3		3		3		3	3	3	3	3		3					27	
максимальный балл за посещаемость, активность на занятиях и т.д. за текущий период																		15				
минимальный положительный балл за посещаемость, активность на занятиях и т.д. за текущий период																		7				
																		60	40			
																		34	16			

# Применение интегральных схем и микросистем в устройствах бытового назначения



# Проектирование и изготовление ИС и микросистем требует:

- 1) знание физики полупроводников и полупроводниковых приборов;
- 2) знание технологии изготовления п/п приборов и ИС;
- 3) знание схемотехнических решений формирования ИС;
- 4) применение современных САПР и умение работать на них.

# Курс состоит из двух частей:

- Физика полупроводников (зонная структура п/п, типы п/п, понятие носителей заряда, концентрация, подвижность и время жизни нз, плотность электронного и дырочного токов и т.д.);
- Физика полупроводниковых приборов (диод, биполярный тр-р, МДП и т.д.);

## Классификация веществ:

### Удельное сопротивление материалов:

- Металлы (  $10^{-6}$  -  $10^{-4}$  ) Ом\*см;
- Полупроводники (  $10^{-3}$  –  $10^9$  ) Ом\*см;
- Диэлектрики – (  $10^{10}$ - $10^{18}$  ) Ом\*см.

### Полупроводники (Si, Ge, GaAs):

химические элементы (Si, Ge, Se);

интерметаллические соединения (InSb, GaAs);

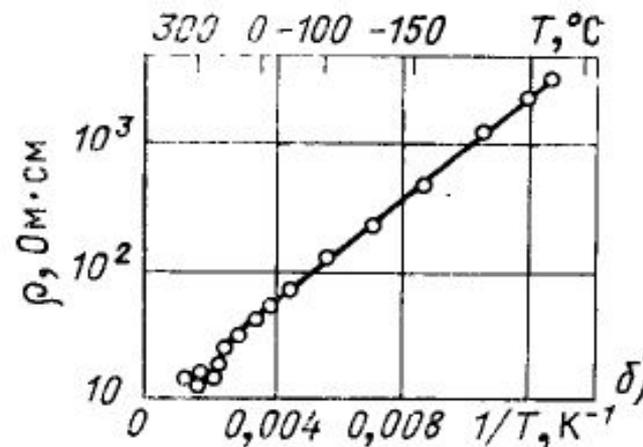
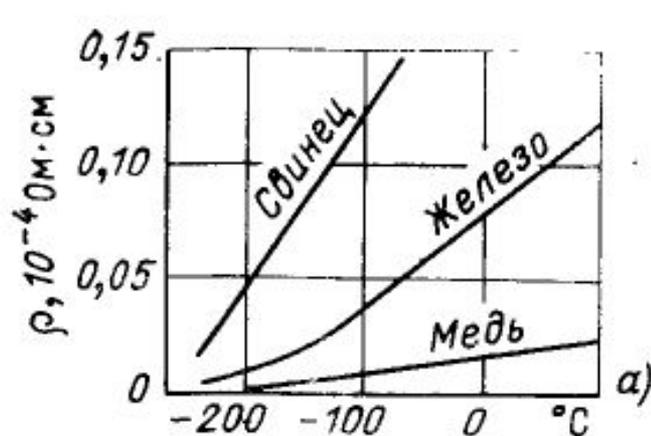
окислы (CuO<sub>2</sub>, ZnO);

карбиды (SiC);

сульфиды (CdS, ZnS) и т.д.

# Зависимость удельного сопротивления от температуры

Металлы	Полупроводники
<p>С увеличением температуры сопротивление чистых металлов возрастает + (0,4 – 0,6)% на 1 град С</p>	<p>С увеличением температуры сопротивление чистых полупроводников снижается - (5 – 6)% на 1 град С</p>



Зависимость удельного сопротивления металлов (а) и кремния (б) от температуры

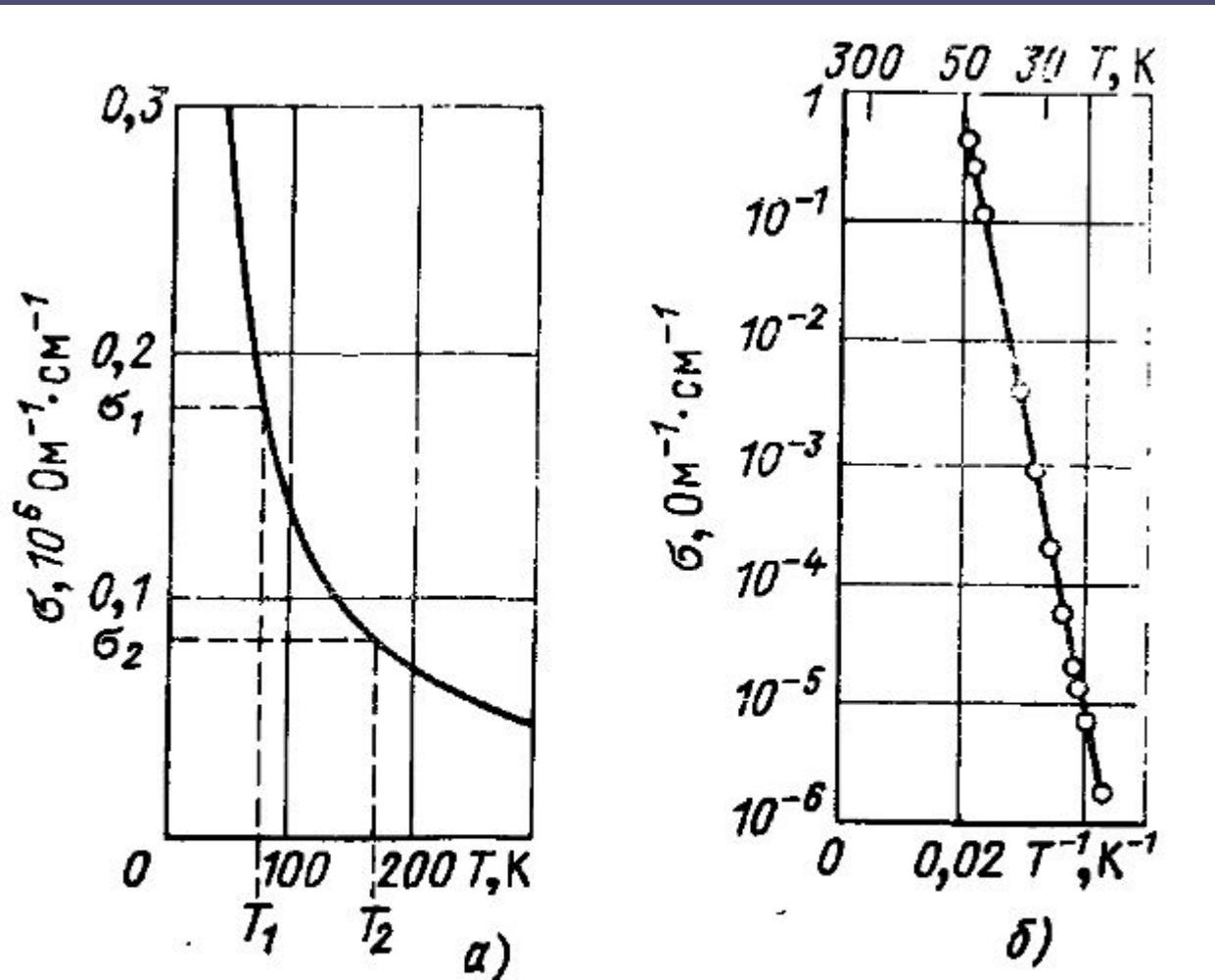
$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t) = \frac{\rho_0}{T_0} T$$

$$\rho = \rho_0 e^{\beta/T};$$

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\beta/T},$$

$$\frac{\Delta\sigma}{\Delta T} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{T_2 - T_1} > 0.$$

# Зависимость удельной проводимости свинца и кремния от температуры



Зависимость удельной проводимости свинца (а) и кремния (б) от температуры

Использование кремния в качестве основного полупроводникового материала (преимущества)

- 1) Кремний доступен (отработанная технология получения и обработки);
- 2) Оксид кремния  $\text{SiO}_2$  – идеальный диэлектрик;
- 3) Кремниевая интегральная технология отработывалась более 45 лет.



# Периодическая система элементов Д.И. Менделеева

		ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА																				
I		II		III		IV		V		VI		VII (H)		VIII								
1	<b>H</b> ВОДОРОД 1,00794											2	<b>He</b> ГЕЛИЙ 4,00260	 Периодический закон открыт Д.И. МЕНДЕЛЕЕВЫМ в 1869 году								
2	<b>Li</b> ЛИТИЙ 6,94	<b>Be</b> БЕРИЛЛИЙ 9,01218	3	<b>B</b> БОР 10,81	4	<b>C</b> УГЛЕРОД 12,011	5	<b>N</b> АЗОТ 14,0067	6	<b>O</b> КИСЛОРОД 15,999	7	<b>F</b> ФТОР 18,998403	8			<b>Ne</b> НЕОН 20,18						
3	<b>Na</b> НАТРИЙ 22,98977	<b>Mg</b> МАГНИЙ 24,305	9	<b>Al</b> АЛЮМИНИЙ 26,98154	10	<b>Si</b> КРЕМНИЙ 28,085	11	<b>P</b> ФOSФОР 30,97376	12	<b>S</b> СЕРА 32,06	13	<b>Cl</b> ХЛОР 35,453	14			<b>Ar</b> АРГОН 39,94						
4	<b>K</b> КАЛИЙ 39,098	<b>Ca</b> КАЛЬЦИЙ 40,08	15	<b>Sc</b> СКАНДИЙ 44,9559	16	<b>Ti</b> ТИТАН 47,88	17	<b>V</b> ВАНАДИЙ 50,9415	18	<b>Cr</b> ХРОМ 51,996	19	<b>Mn</b> МАРГАНЕЦ 54,9380	20			<b>Fe</b> ЖЕЛЕЗО 55,84	21	<b>Co</b> КОБАЛЬТ 58,9332	22	<b>Ni</b> НИКЕЛЬ 58,70		
	29	<b>Cu</b> МЕДЬ 63,54	30	<b>Zn</b> ЦИНК 65,38	31	<b>Ga</b> ГАЛЛИЙ 69,72	32	<b>Ge</b> ГЕРМАНИЙ 72,5	33	<b>As</b> МЫШЬЯК 74,9216	34	<b>Se</b> СЕЛЕН 78,9	35			<b>Br</b> БРОМ 79,904	36	<b>Kr</b> КРИПТОН 83,80				
5	37	<b>Rb</b> РУБИДИЙ 85,467	38	<b>Sr</b> СТРОНЦИЙ 87,62	39	<b>Y</b> ИТРИЙ 88,9058	40	<b>Zr</b> ЦИРКОНИЙ 91,22	41	<b>Nb</b> НИОБИЙ 92,9064	42	<b>Mo</b> МОЛИБДЕН 95,94	43			<b>Tc</b> ТЕХНЕЦИЙ 98,9062	44	<b>Ru</b> РУТЕНИЙ 101,0	45	<b>Rh</b> РОДИЙ 102,9055	46	<b>Pd</b> ПАЛЛАДИЙ 106,4
	47	<b>Ag</b> СЕРЕБРО 107,8682	48	<b>Cd</b> КАДМИЙ 112,41	49	<b>In</b> ИНДИЙ 114,82	50	<b>Sn</b> ОЛОВО 118,6	51	<b>Sb</b> СУРЬМА 121,7	52	<b>Te</b> ТЕЛЛУР 127,6	53			<b>I</b> ИОД 126,9045	54	<b>Xe</b> КСЕНОН 131,20				
6	55	<b>Cs</b> ЦЕЗИЙ 132,9054	56	<b>Ba</b> БАРИЙ 137,33	57-71	<b>La-Lu</b> * ЛАНТАНОИДЫ	72	<b>Hf</b> ГАФИЙ 178,4	73	<b>Ta</b> ТАНТАЛ 180,94	74	<b>W</b> ВОЛЬФРАМ 183,8	75	<b>Re</b> РЕНИЙ 186,207	76	<b>Os</b> ОСМИЙ 190,2	77	<b>Ir</b> ИРИДИЙ 192,2	78	<b>Pt</b> ПЛАТИНА 195,08		
	79	<b>Au</b> ЗОЛОТО 196,9665	80	<b>Hg</b> РУТУТЬ 200,5	81	<b>Tl</b> ТАЛЛИЙ 204,3	82	<b>Pb</b> СВИНЕЦ 207,2	83	<b>Bi</b> ВИСМУТ 208,9804	84	<b>Po</b> ПОЛОНИЙ 209	85	<b>At</b> АСТАТ 210	86	<b>Rn</b> РАДОН 222	Обозначение элемента Атомный номер					
7	<b>Fr</b> ФРАНЦИЙ 223	88	<b>Ra</b> РАДИЙ 226,0754	89-103	<b>Ac-(Lr)</b> ** АКТИНОИДЫ	104	<b>Rf</b> РУРАТОВИЙ 261	105	<b>Ns</b> НИЛЬСБОРИЙ 261	— 5 элементов — 6 элементов — 7 элементов — 8 элементов		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> <b>Li</b> ЛИТИЙ 6,94                     </div> Атомная масса										

\* ЛАНТАНОИДЫ

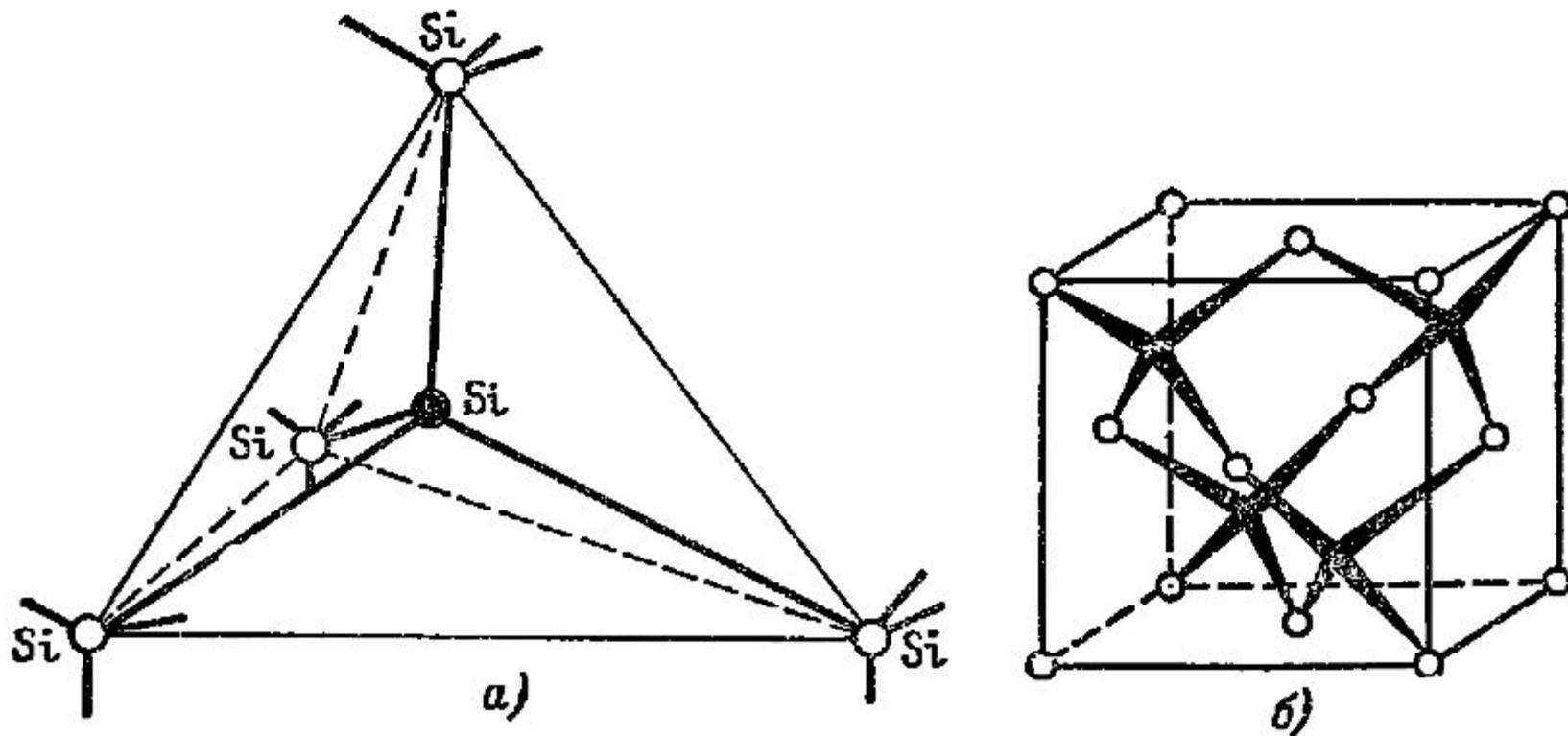
La 57 ЛАНТАН 138,905	Ce 58 ЦЕРИЙ 140,12	Pr 59 ПРАЗЕОДИМ 140,907	Nd 60 НЕОДИМ 144,2	Pm 61 ПРОМЕТИЙ 144,9	Sm 62 САМАРИЙ 150,4	Eu 63 ЕВРОПИЙ 151,96	Gd 64 ГАДОЛИНИЙ 157,25	Tb 65 ТЕРБИЙ 158,9054	Dy 66 ДИСПРОЗИЙ 162,5	Ho 67 ГОЛЬМИЙ 164,9303	Er 68 ЭРБИЙ 167,25	Tm 69 ТУЛМИЙ 168,9304	Yb 70 ИТТЕРБИЙ 173,05	Lu 71 ЛЮТЕЦИЙ 174,967
----------------------------	--------------------------	-------------------------------	--------------------------	----------------------------	---------------------------	----------------------------	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	------------------------------	--------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

\*\* АКТИНОИДЫ

Ac 89 АКТИНИЙ 227	Th 90 ТОРИЙ 232,038	Pa 91 ПРОТАКТИНИЙ 231,036	U 92 УРАН 238,0289	Np 93 НЕПУНЦИЙ 237,0482	Pu 94 ПЛУТОНИЙ 239,0522	Am 95 АМЕРИЦИЙ 243,0613	Cm 96 КЮРИЙ 247,0712	Bk 97 БЕРКЛИЙ 247,0712	Cf 98 КАЛИФОРНИЙ 251,0833	Es 99 ЭЙНШТЕЙНИЙ 252,0833	Fm 100 ФЕРМИЙ 257,10	Md 101 МЕНДЕЛЕВИЙ 258,10	(No) 102 (НОБЕЛИЙ) 259,10	(Lr) 103 (ЛОУРЕНСИЙ) 260,10
-------------------------	---------------------------	---------------------------------	--------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	----------------------------	------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	----------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------

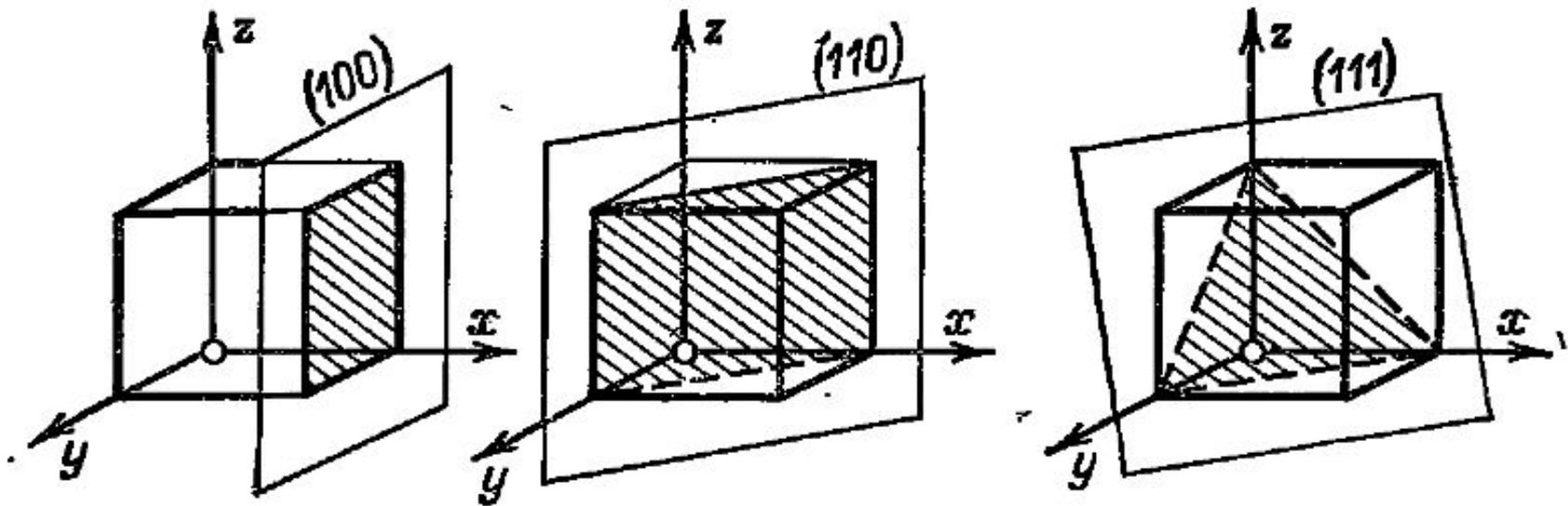
Атомные массы приведены по Менделеевской таблице 1981 года.  
Точность последней значащей цифры: -1 или +3, если это выделено маленьким шрифтом.  
В издательской скобке приведены массовые числа наиболее распространенных изотопов.

# Структура кристаллической решетки типа алмаз



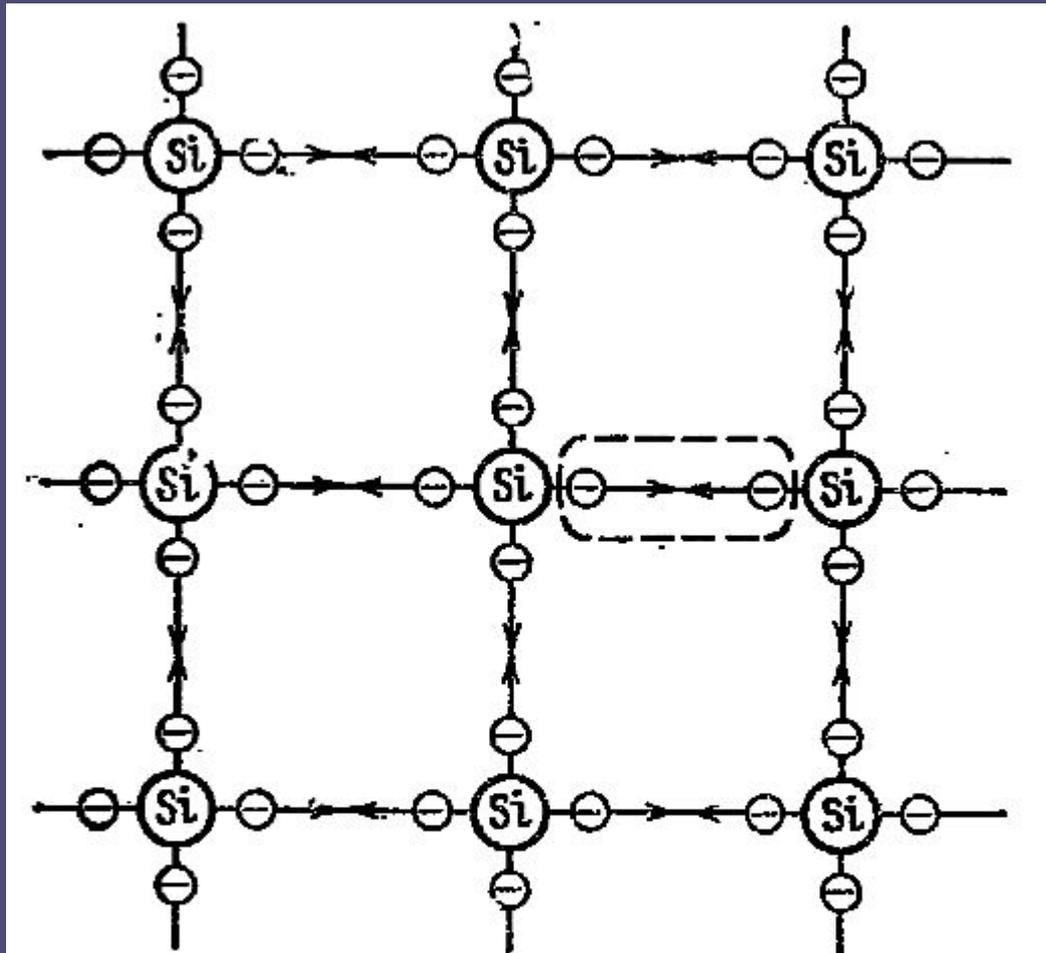
Тетраэдрическая структура кристаллической решетки.  
а — элементарный тетраэдр; б — элементарная ячейка.

# Анизотропия в кристаллах



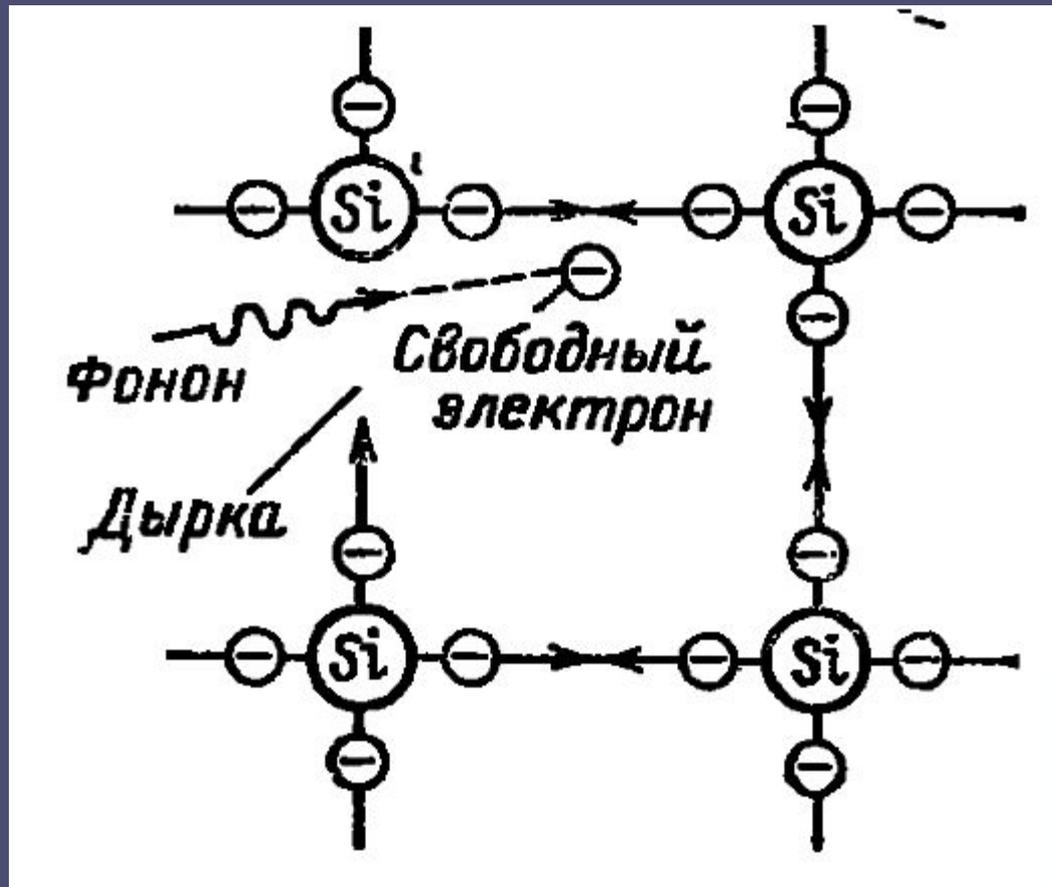
Характеристические плоскости кубической решетки.

# Связь атомов в решетке кремния



«Плоский» эквивалент тетраэдрической решетки с валентными связями атомов.

# Процесс образования пары электрон-дырка



Процесс образования пары электрон — дырка в решетке под действием фонона (или фотона).

# Схема движения дырки

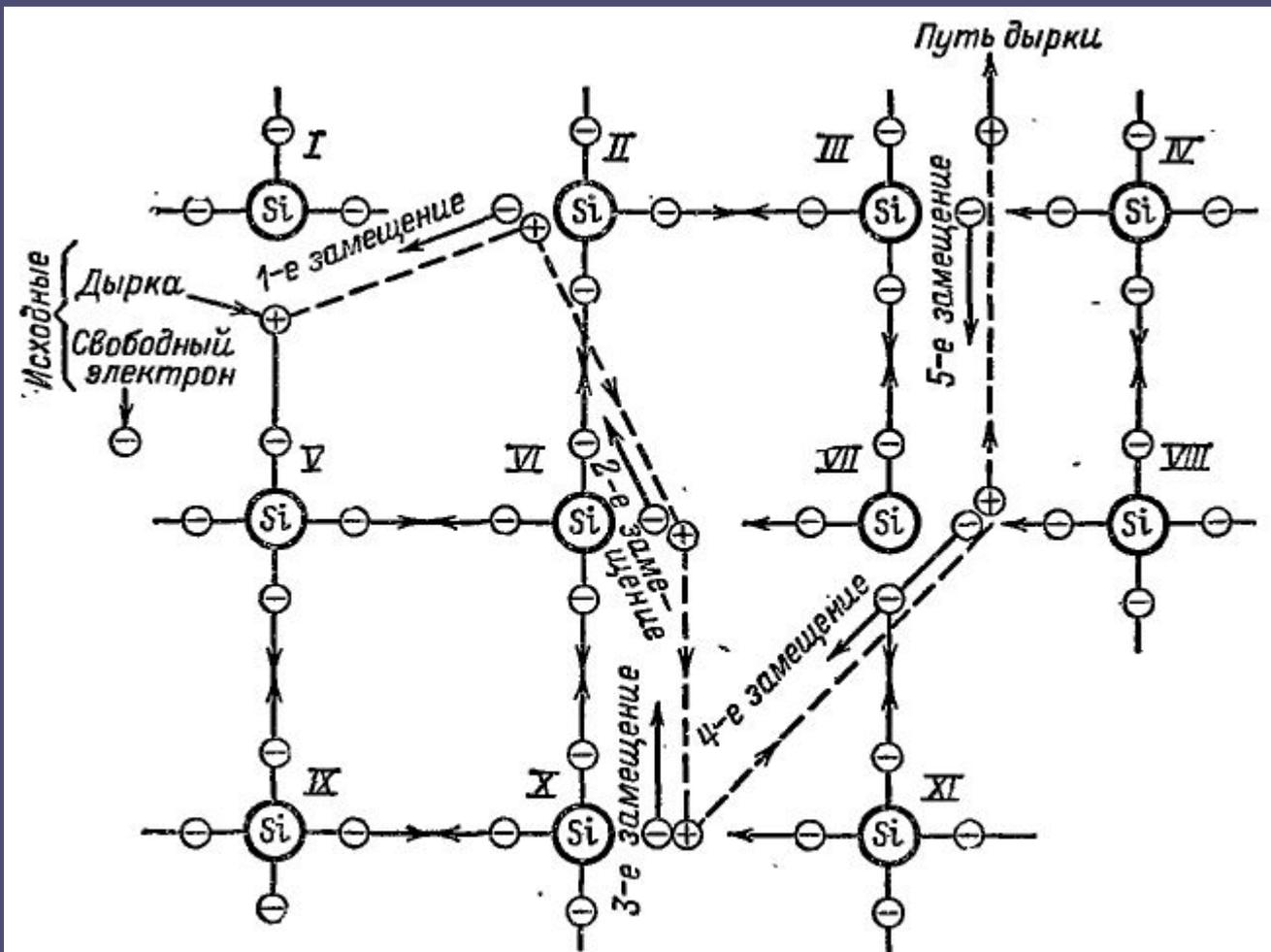
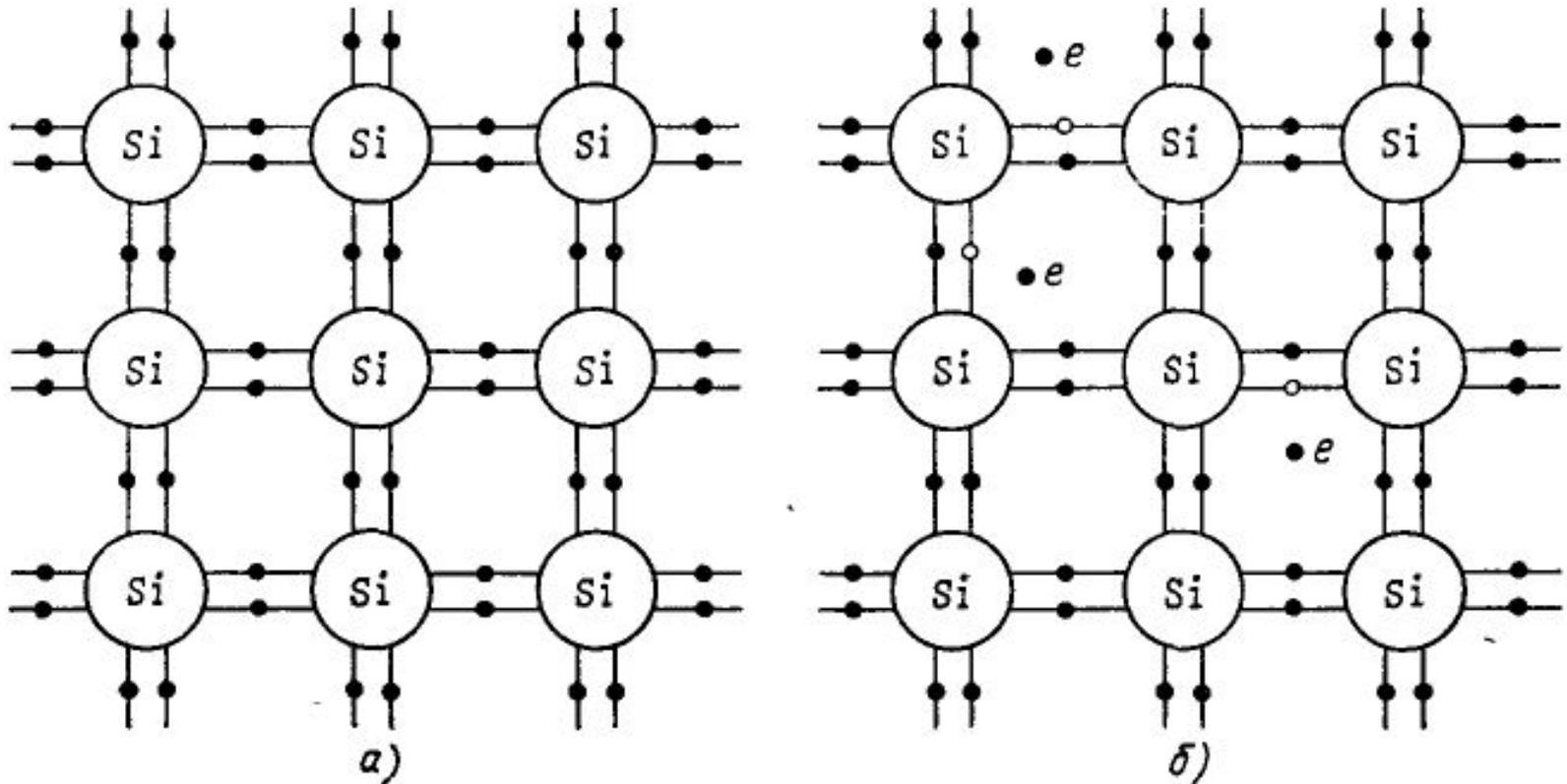


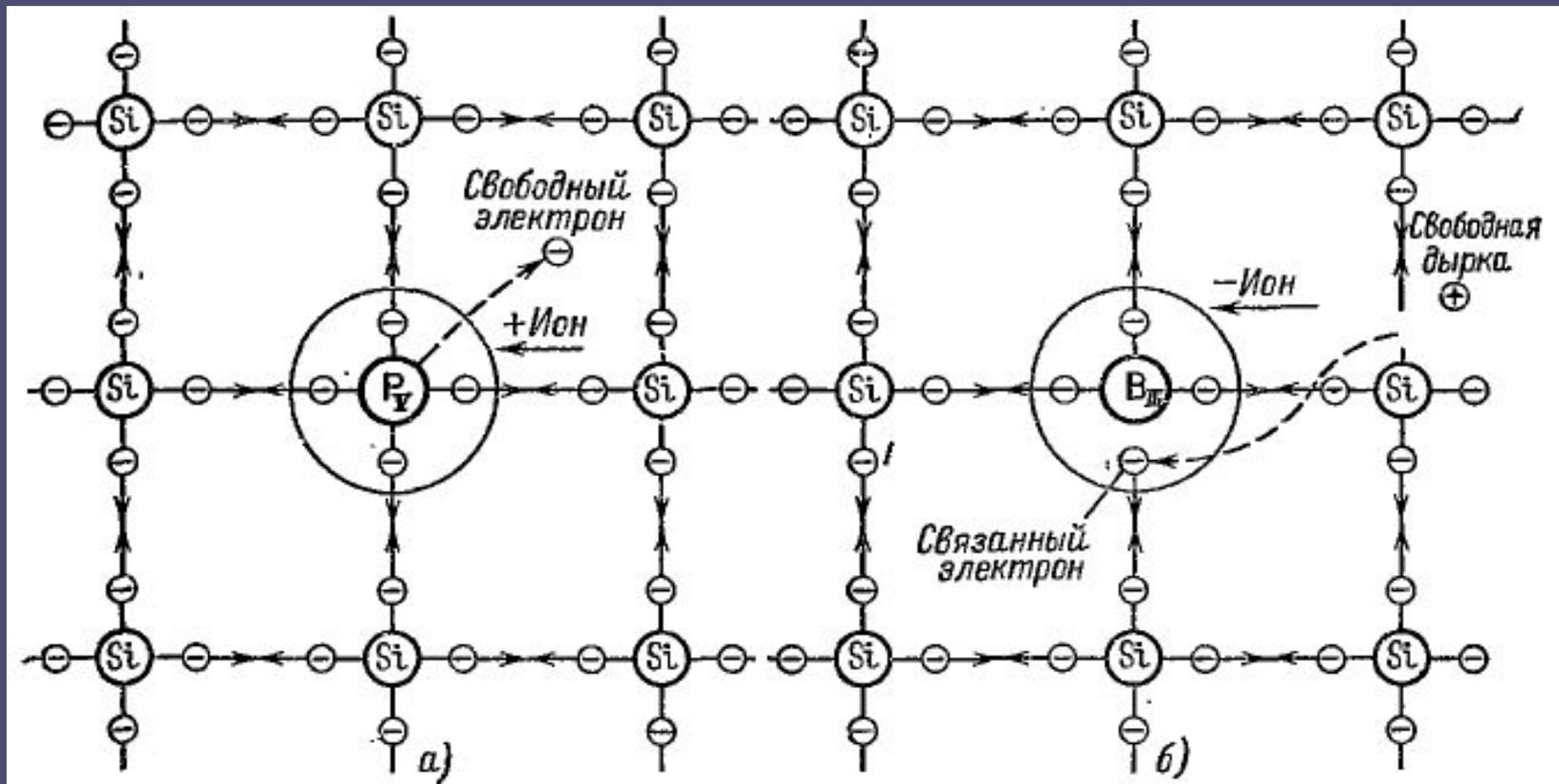
Схема движения свободной дырки в кристаллической решетке.

# Собственный полупроводник



Двумерное представление расположения связей в решетке кремния (собственный полупроводник)

# Примесный полупроводник



Замещение примесными атомами основных атомов в решетке.

а — донорная примесь (образуются свободный электрон и неподвижный положительный ион); б — акцепторная примесь (образуются свободная дырка и неподвижный отрицательный ион).