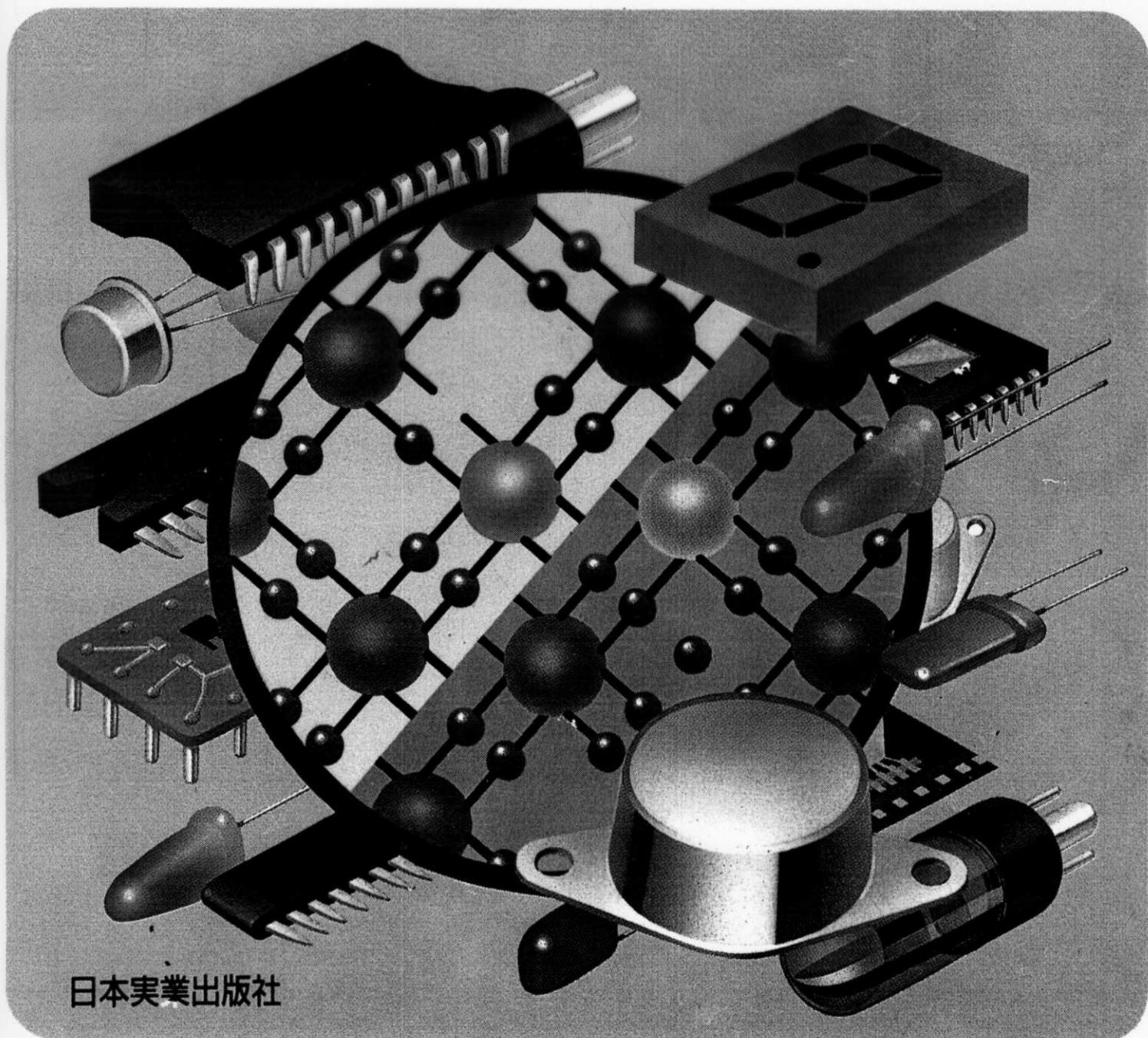


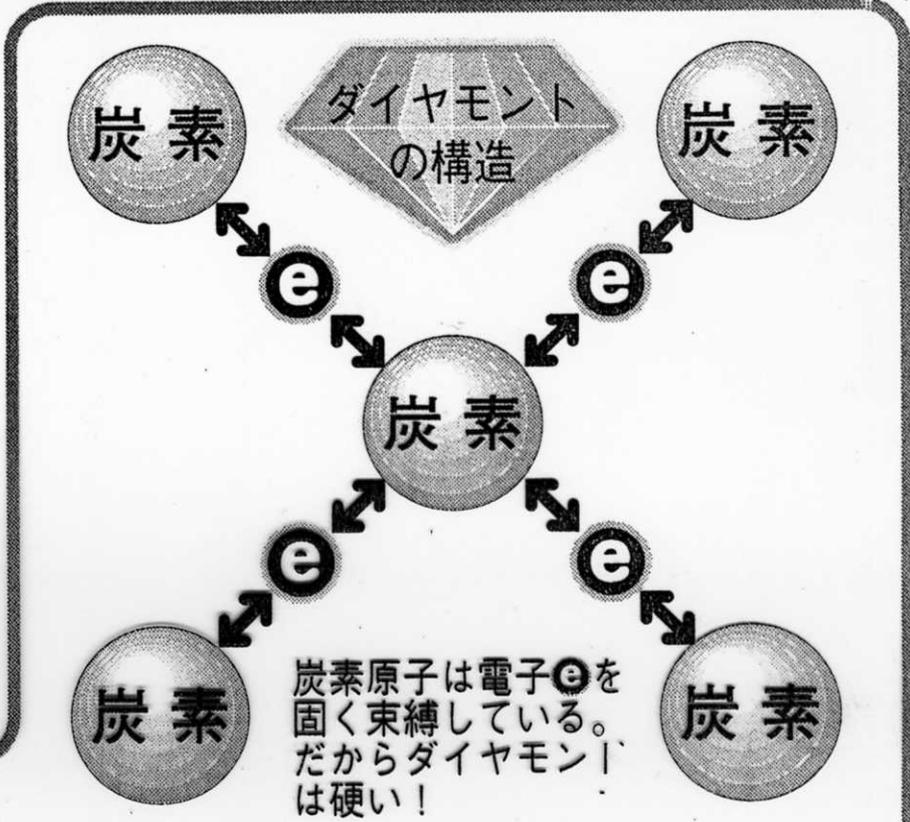
絵でわかる 半導体とIC

東京大学先端科学技術研究センター教授

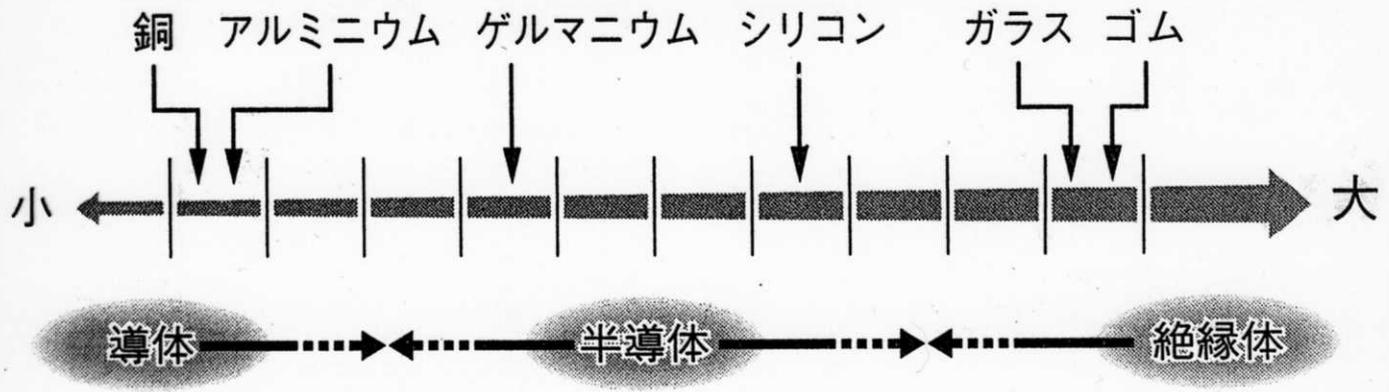
岡部洋一



日本実業出版社



《抵抗率の比較》



《半導体材料として使われる主な元素》

 は単体で半導体として用いられる元素
 は化合物半導体として用いられる元素

II	III	IV	V	VI
	5 B ホウ素	6 C 炭素	7 N 窒素	8 O 酸素
	13 Al アルミニウム	14 Si ケイ素	15 P リン	16 S 硫黄
30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ゲルマニウム	33 As ヒ素	34 Se セレン
48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル
80 Hg 水銀	81 Tl タリウム	82 Pb 鉛	83 Bi ビスマス	84 Po ポロニウム

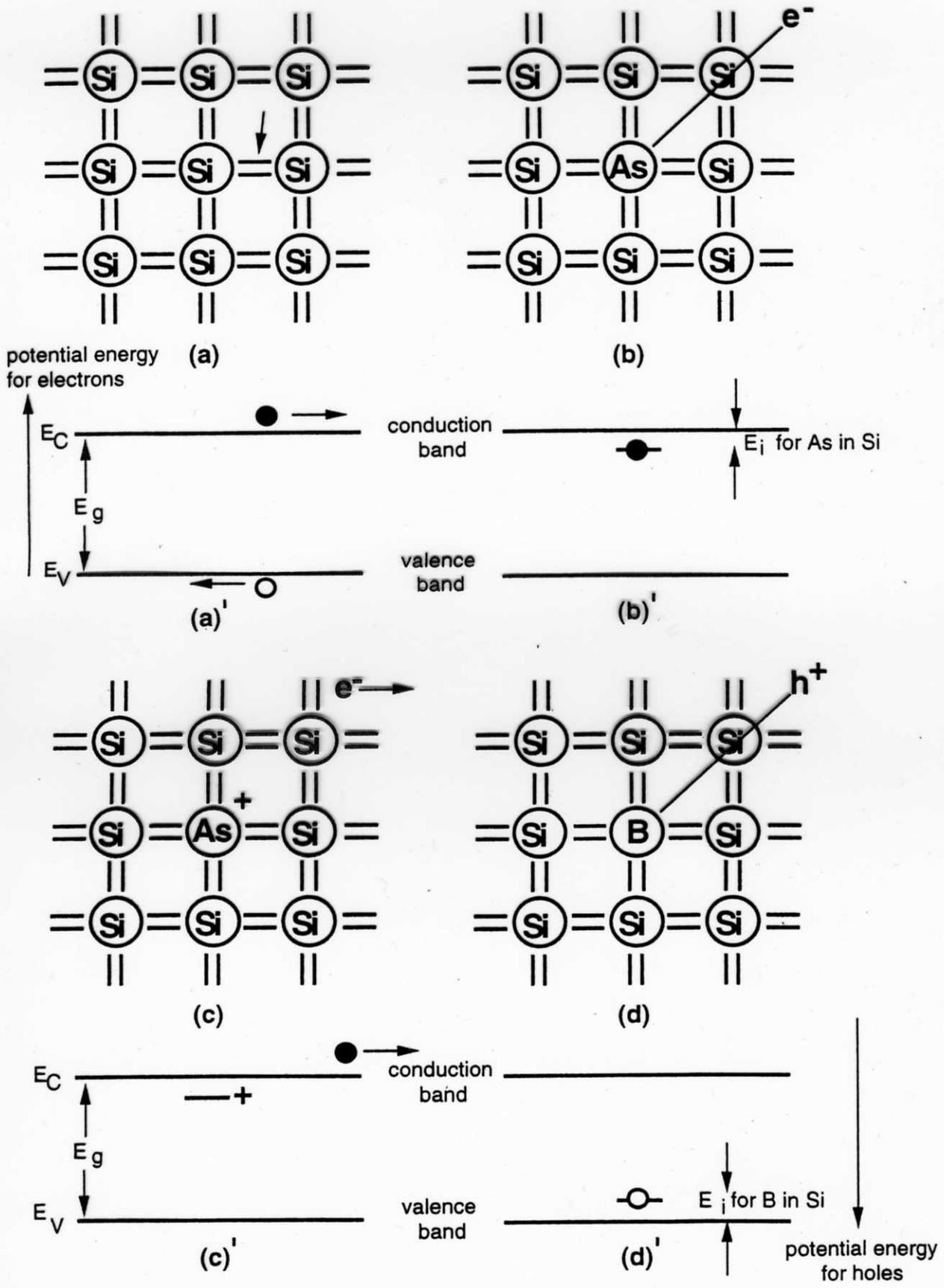
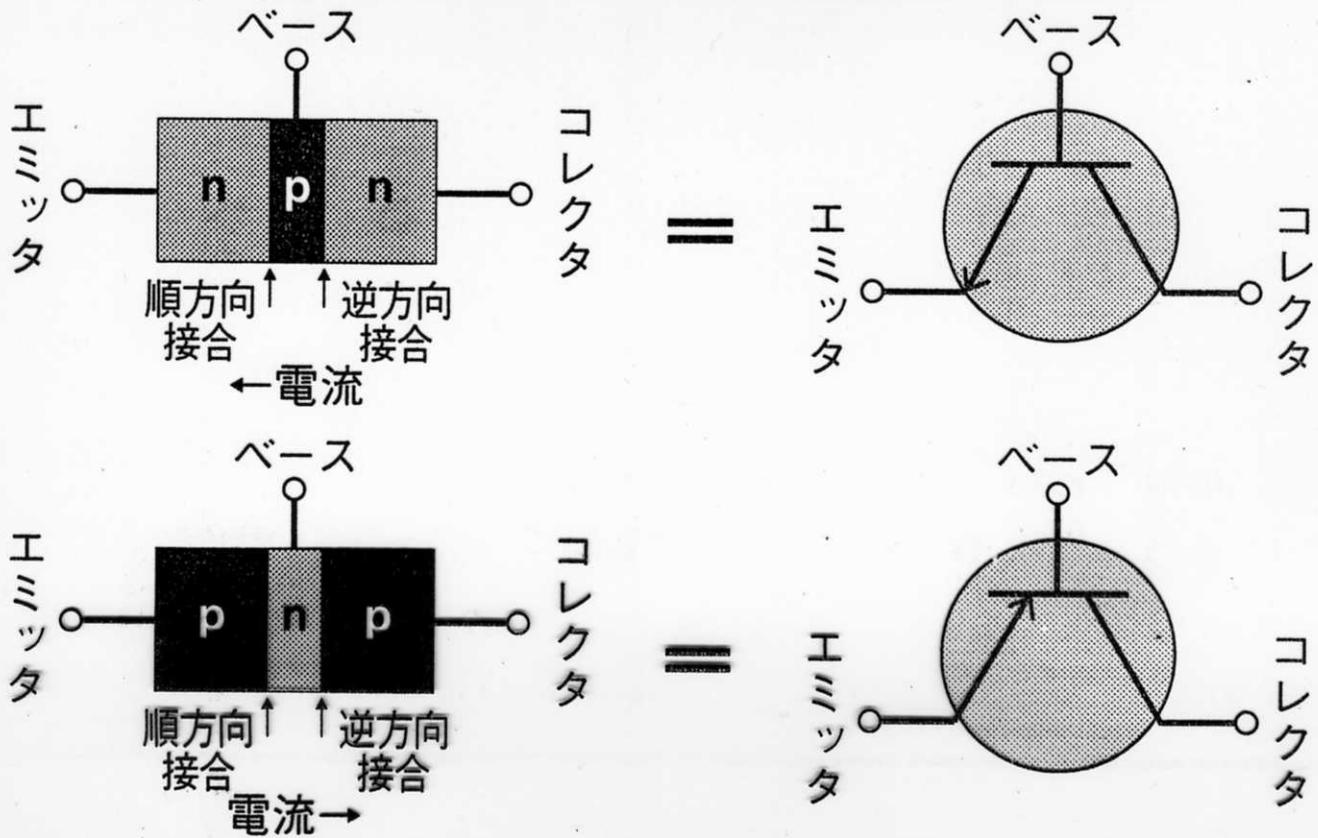
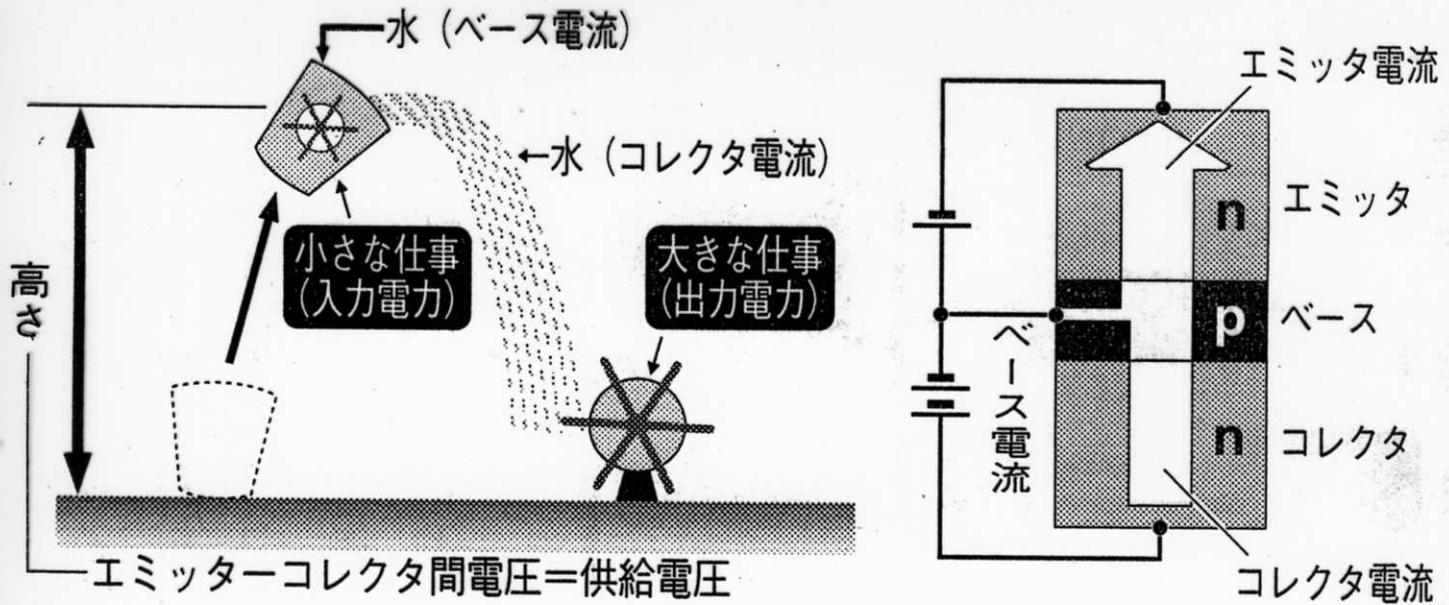


Fig. 1 Si crystals and their band diagrams

《バイポーラトランジスタの構成とその記号》

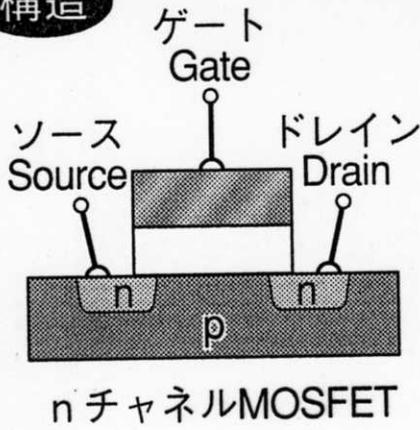


《バイポーラトランジスタの動作原理》



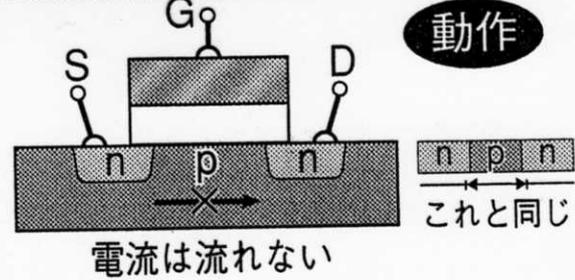
《MOSFETとは》

構造

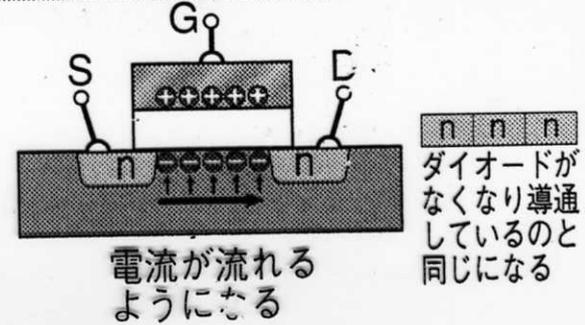


動作

◆ゲートに電圧をかけないと

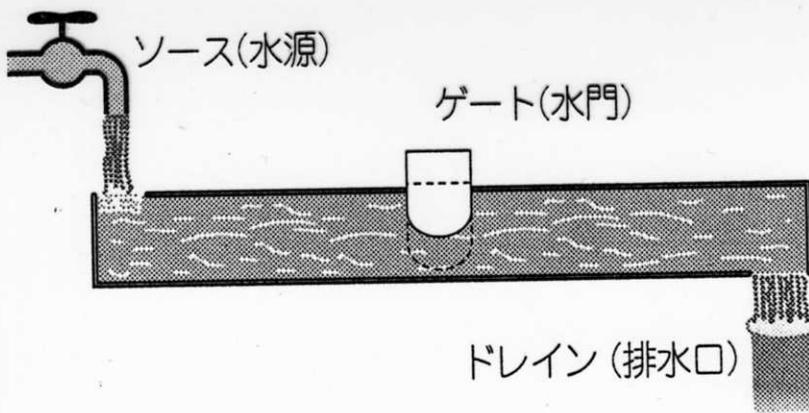


◆ゲートに \oplus の電圧をかけると



イメージ

MOSFETの動作は、「水の流れ」にたとえることができる

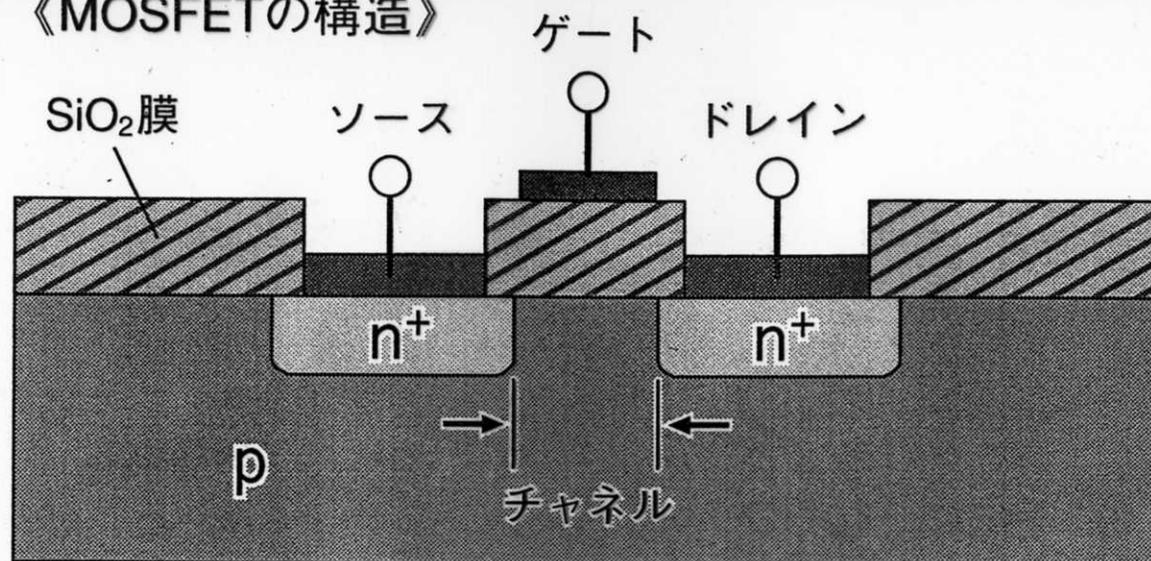


ゲートに加わる電気のカ

電気回路としてのイメージ



《MOSFETの構造》



《ゲートにプラスの電圧をかけると》

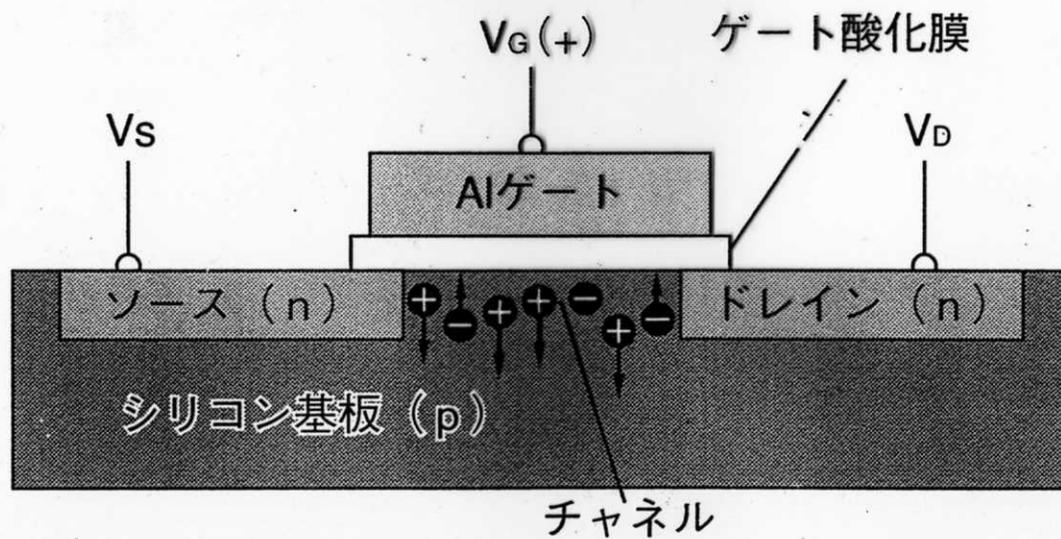


図1 《1桁分の加算規則》

A	B	Cin	S	Cout
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

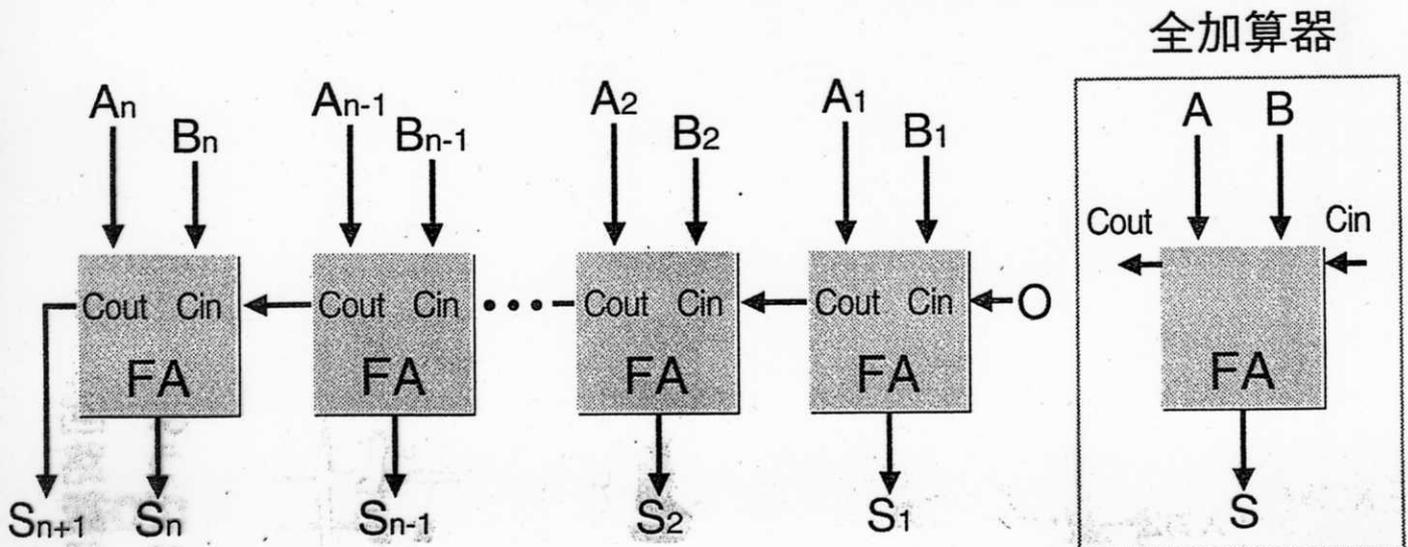
図2 《加算の例》

10進法 $19 + 25 = 44$

2進法 $10011 + 11001 = 101100$

$$\begin{array}{r} 10011 \\ + 11001 \\ \hline 101100 \end{array}$$

図3 《nビット加算器の構成》



《2進数の乗算》

《10進数の乗算》

$\begin{array}{r} 1101 \\ \times 10011 \\ \hline 1101 \\ 1101 \\ 1101 \\ \hline 11110111 \end{array}$	<p>←----- 被乗数 -----></p> <p>←----- 乗数 -----></p> <p>←----- 部分積 -----></p> <p>←----- 積 -----></p>	$\begin{array}{r} 13 \\ \times 19 \\ \hline 117 \\ 13 \\ \hline 247 \\ = (11110111)_2 \end{array}$
---	--	--

《2進数の除算》

《10進数の除算》

$\begin{array}{r} 1101 \overline{) 11111000} \\ \underline{1101} \\ 10100 \\ \underline{1101} \\ 1110 \\ \underline{1101} \\ 1 \end{array}$	<p>←----- 商 -----></p> <p>←----- 被除数 -----></p> <p>←----- 部分被除数 -----></p> <p>←----- 余り -----></p>	$\begin{array}{r} 19 \overline{) 248} \\ \underline{13} \\ 118 \\ \underline{117} \\ 1 \end{array}$
---	--	---

《1桁2進数の乗算規則》
(AND)

a	b	a·b
0	x	0
0	x	1
1	x	0
1	x	1

図1《最も基本的な演算》

演算の種類

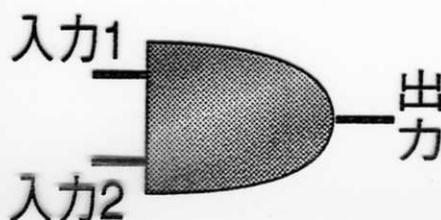
真理値表

論理回路記号

数式上の
表記法

AND

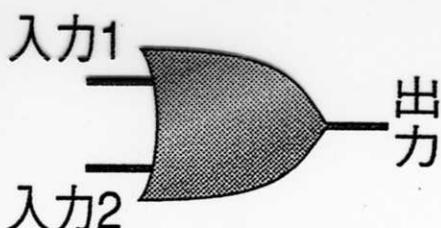
入力1	入力2	出力
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



$A \cdot B$
 $A \cap B$

OR

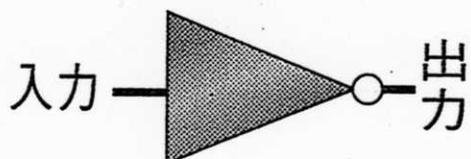
入力1	入力2	出力
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



$A + B$
 $A \cup B$

NOT

入力	出力
0	1
1	0



\bar{A}

図2 《10進数と2進数の対応》

10進法	2進法
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001
10	1010

《1桁の2進数を表わす回路例》

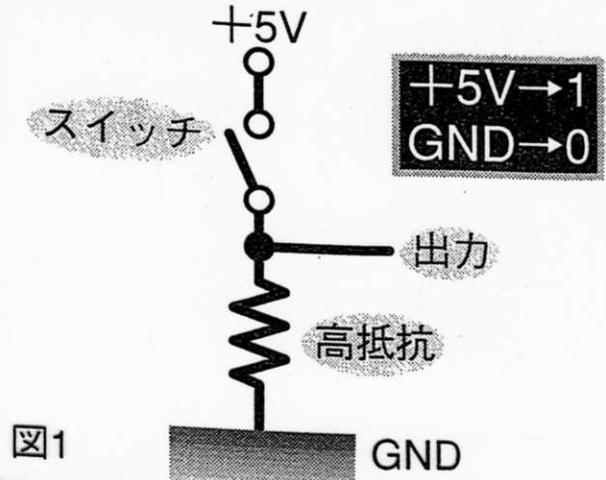


図3 《2進数から10進数の計算法》

$$\begin{aligned}
 &= (1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \cdot 0 \quad 1)_2 \\
 &\quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\
 &= 2^3 \times 1 + 2^2 \times 0 + 2^1 \times 1 + 2^0 \times 0 + 2^{-1} \times 0 + 2^{-2} \times 1 \\
 &= 8 + 0 + 2 + 0 + 0 + 0.25 \\
 &= \mathbf{(10.25)_{10}}
 \end{aligned}$$

n型シリコン基板



p-ウェル



二酸化ケイ素



多結晶シリコン
アルミニウム



イオン打ち込み



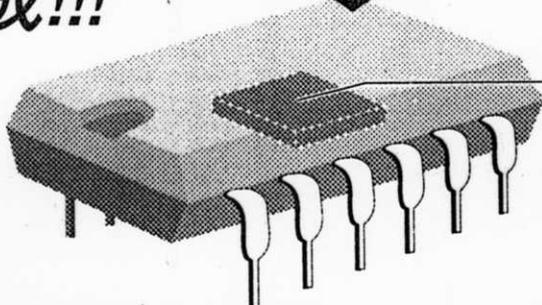
二酸化ケイ素
(層間絶縁用)



アルミニウム
(配線用)



完成!!!



きれいに洗浄したシリコン基板を用意する。シリコン基板は、n型のものを用いるのが一般的。

pウェル (p型の不純物を拡散させた領域)をつくる。ここはnチャンネルのMOSFETをつくるのに必要。

その上に酸化膜を形成する。薄い部分 (MOS構造のため) と厚い部分 (絶縁のため) とがあるので、2回に分けて酸化する。

多結晶シリコン (金属の役割をする) を堆積してMOS構造をつくる。ここがMOSFETのゲートになる。また、多結晶シリコンの代わりにアルミニウムを用いることもある。

イオン打ち込み法によって、p型とn型の領域を順番につくる。この部分がソースとドレインになる。(セルフ・アライメント)

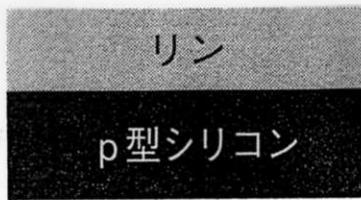
層間絶縁層である二酸化ケイ素を堆積して、後で接続したいところには穴 (コンタクト・ホール) をあける。

アルミニウムを堆積して素子と素子とをつないでいく。

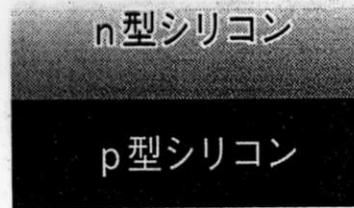
劣化を防ぐための表面処理 (パッシベーション)を行ない、パッケージに実装して完成

外側からは見えないが、ICやLSIの中には、わずか数ミリ角の半導体が入っていて、その中に複雑な回路が作り込まれている。

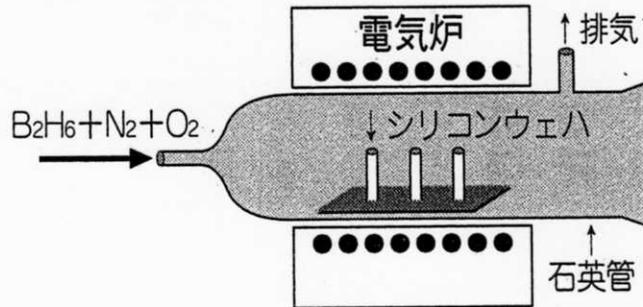
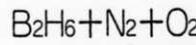
《拡散法》



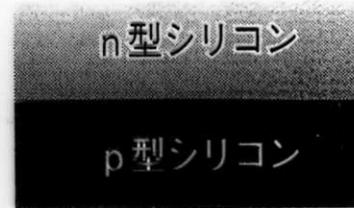
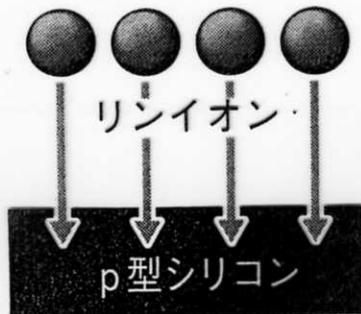
加熱する



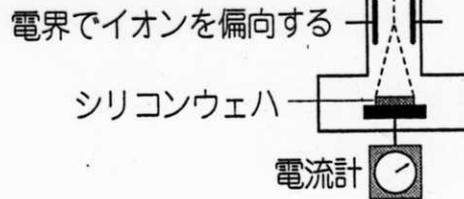
不純物拡散の例



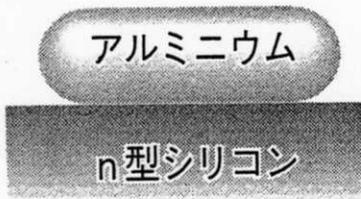
《イオン打ち込み法》



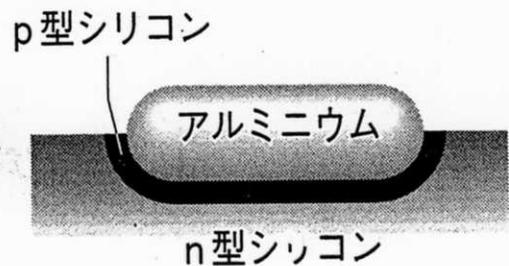
イオン打ち込みの原理



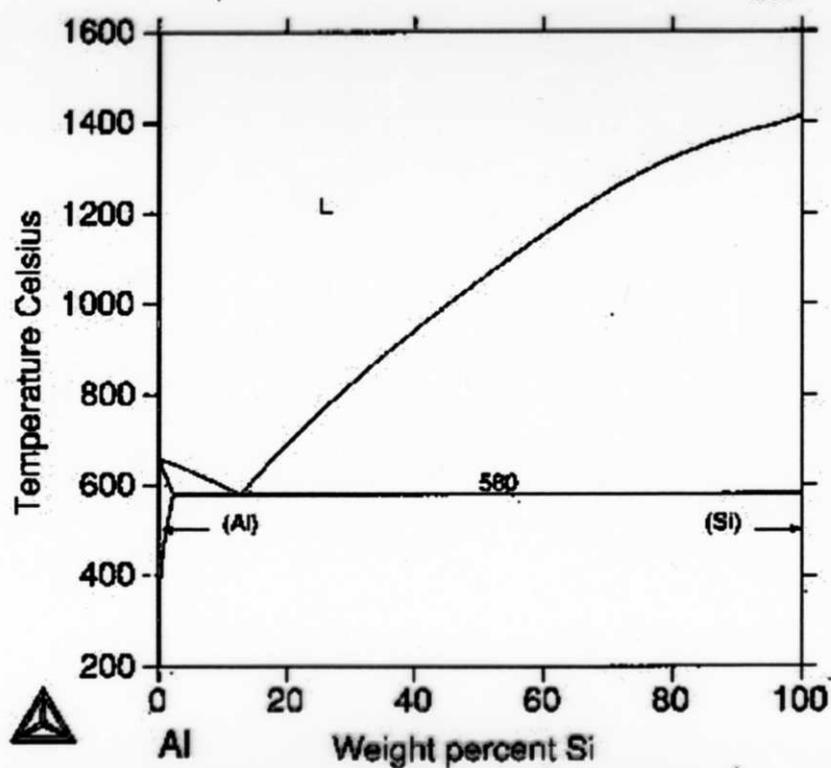
《合金法》



加熱する



SGTE Phase diagram collection



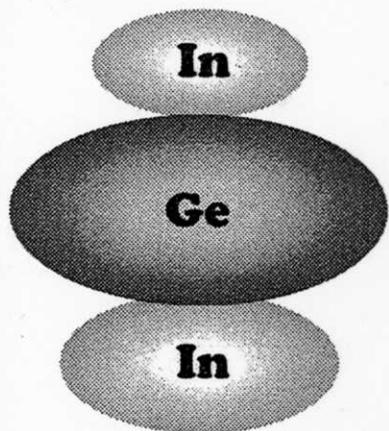
Al-Si Crystal Structure Data

Phase	Pearson Symbol	Struktur Bericht	Prototype	Model
(Al)	cF4	A1	Cu	RK
(Si)	cF8	A4	C(diamond)	RK

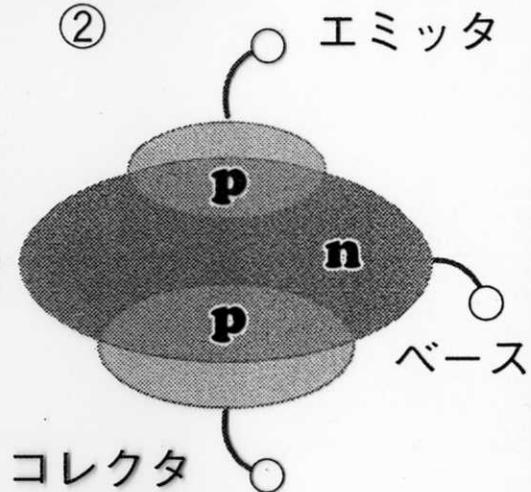
D. Iudicka, Z. Metallkunde Vol 77, (1986) p 278-283

《合金型接合トランジスタの概念図》

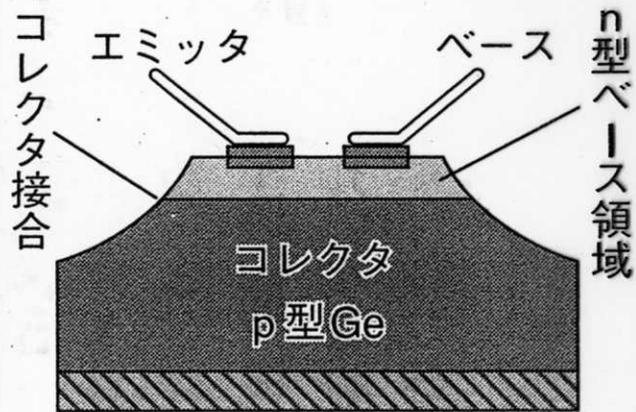
①



②



《メサ型トランジスタの構造》



《プレーナ型トランジスタの構造》

