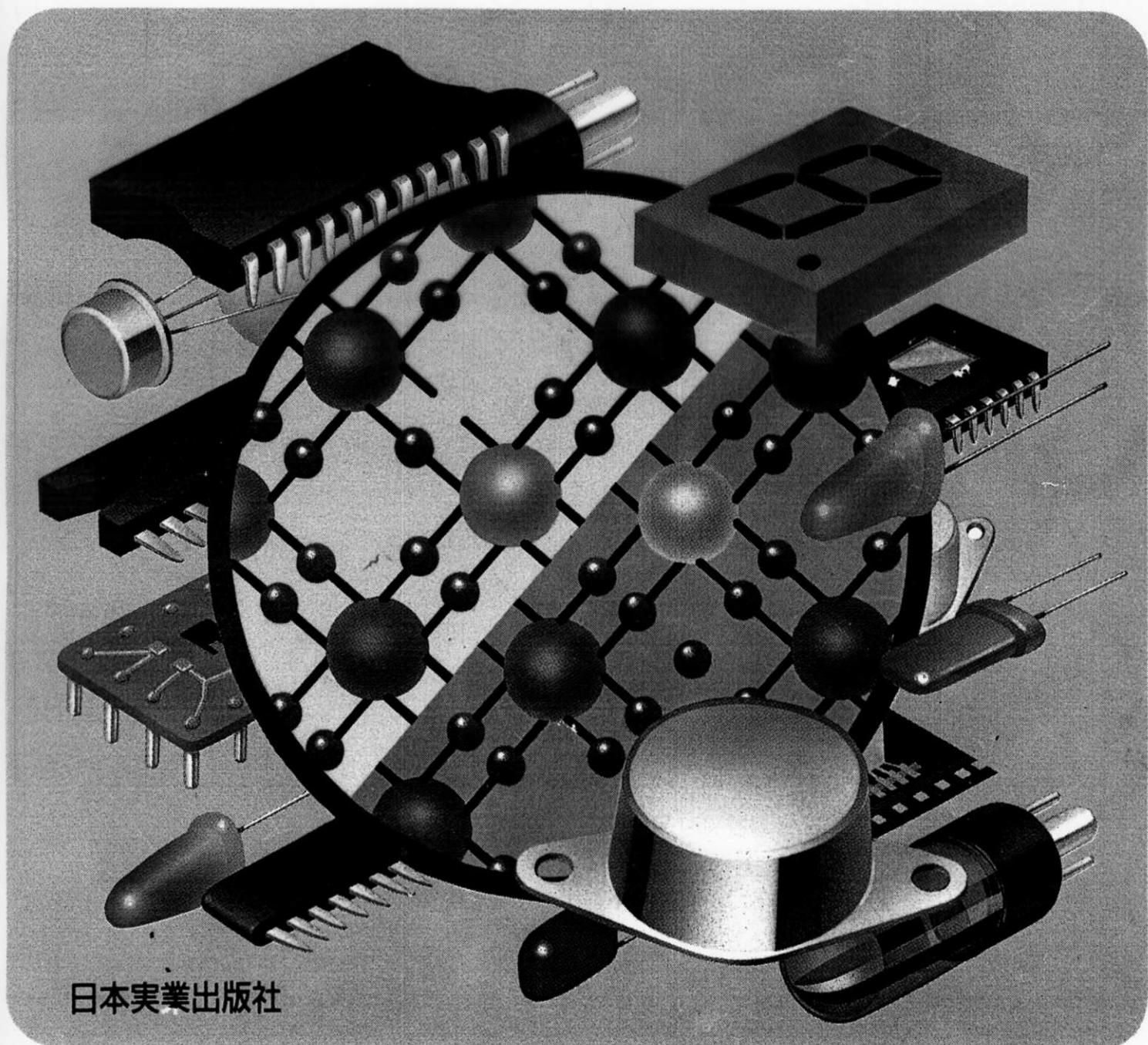


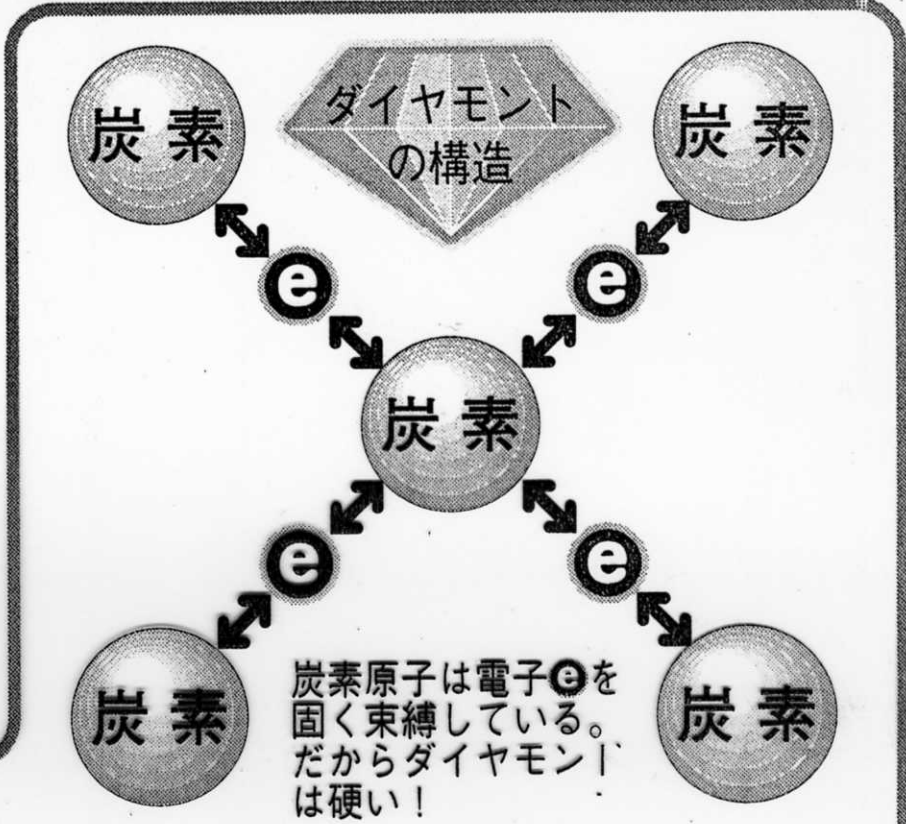
# 絵でわかる 半導体とIC

東京大学先端科学技術研究センター教授

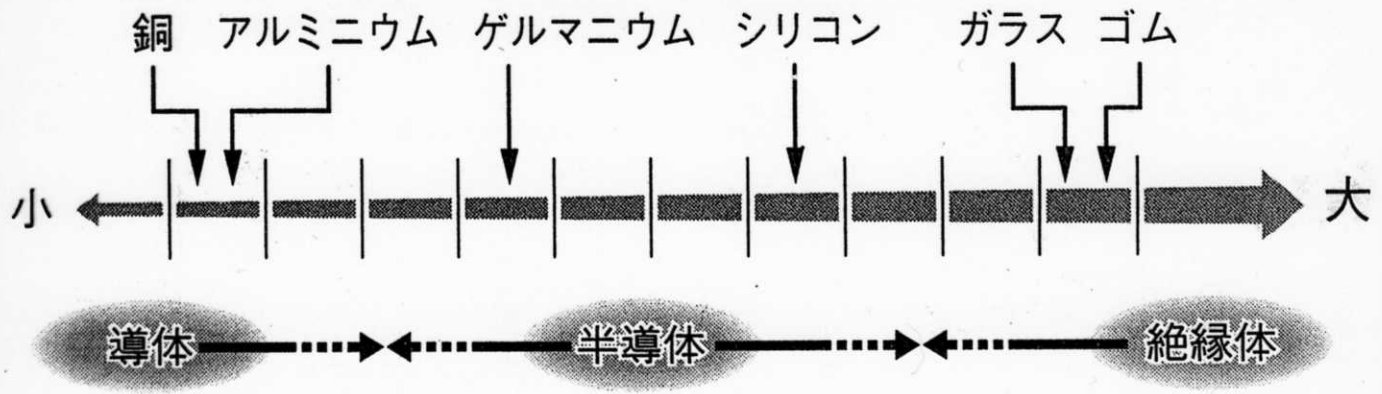
岡部洋一





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

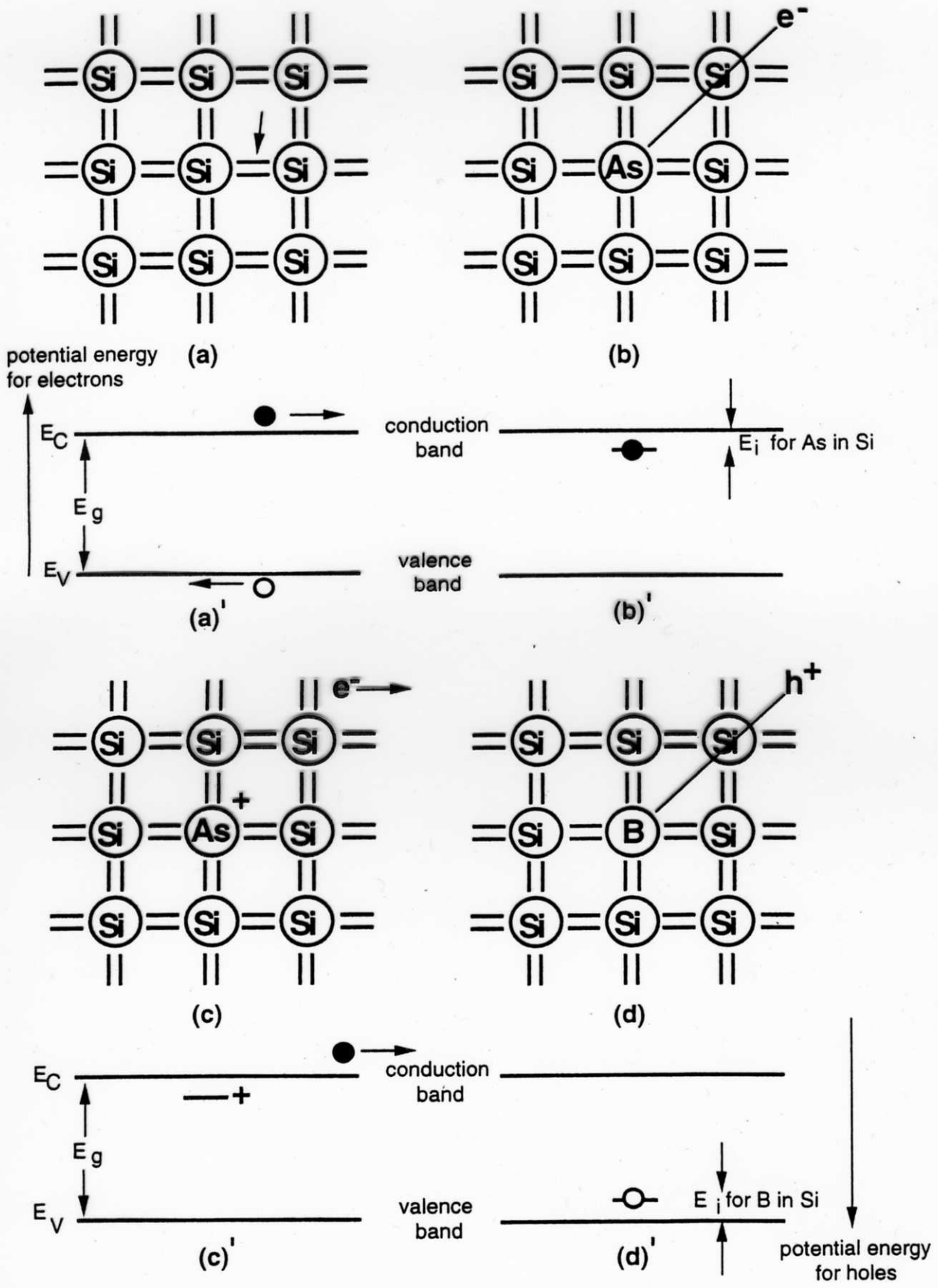
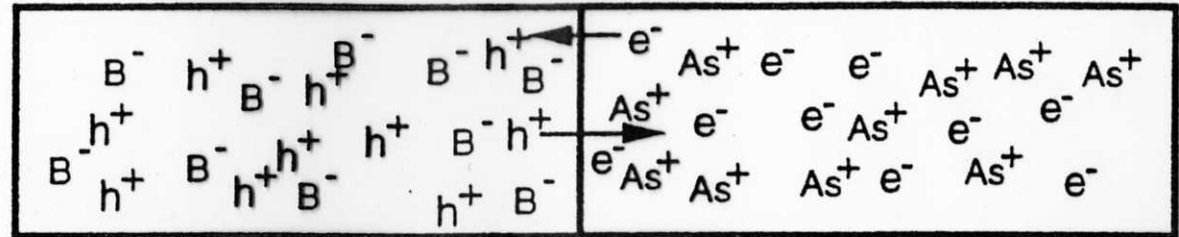


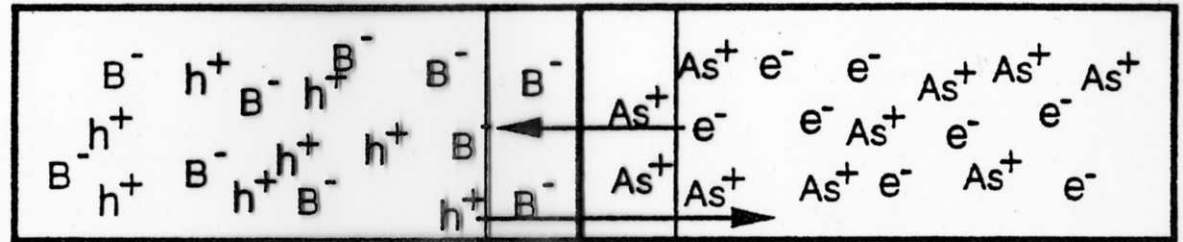
Fig. 1 Si crystals and their band diagrams

p-type

n-type



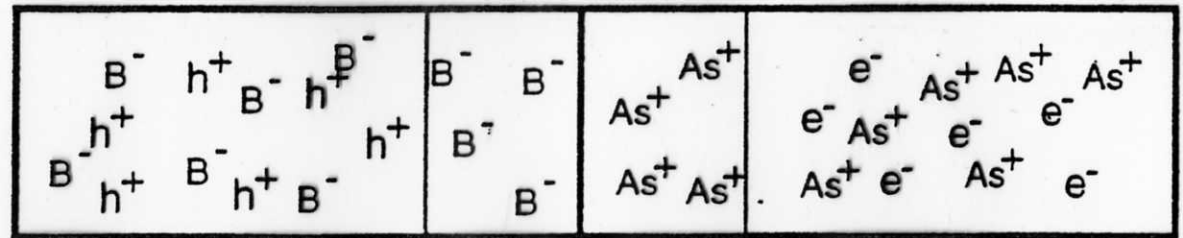
(a)



(b)

W

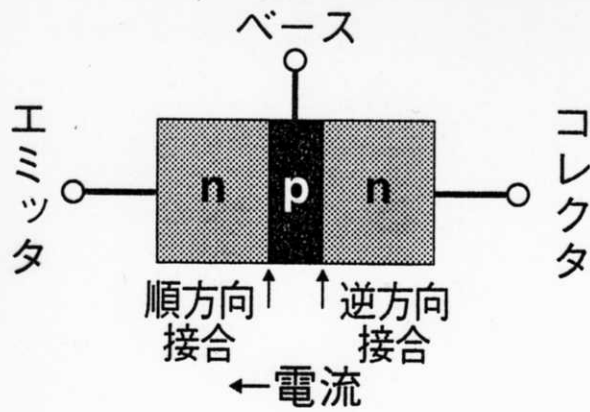
depletion region



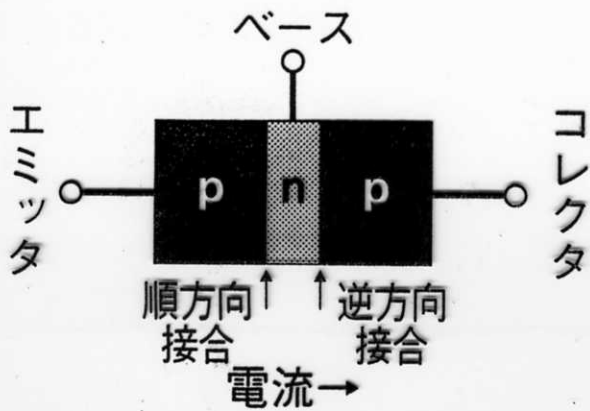
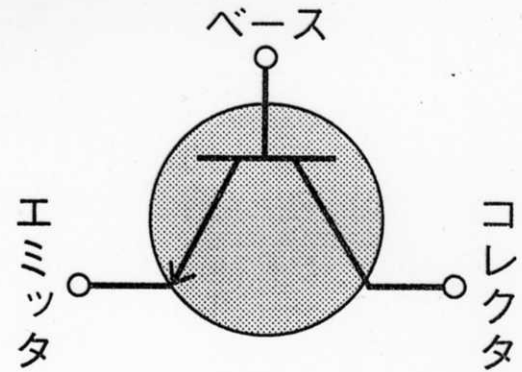
(c)



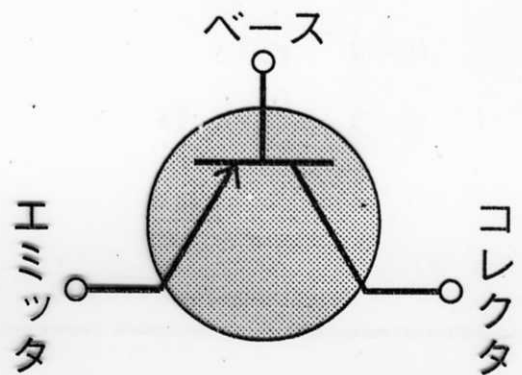
## 《バイポーラトランジスタの構成とその記号》



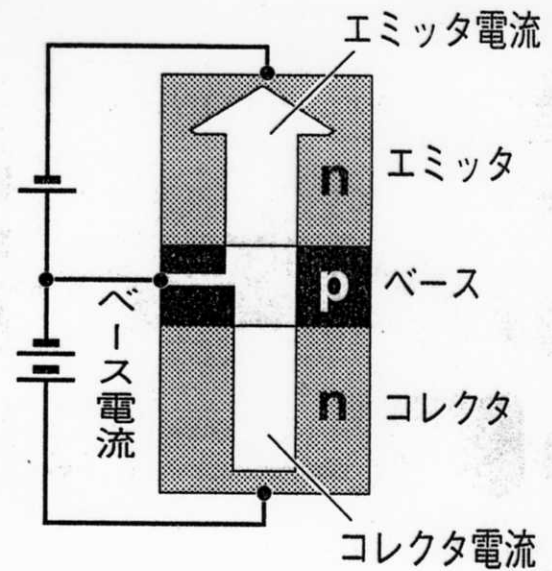
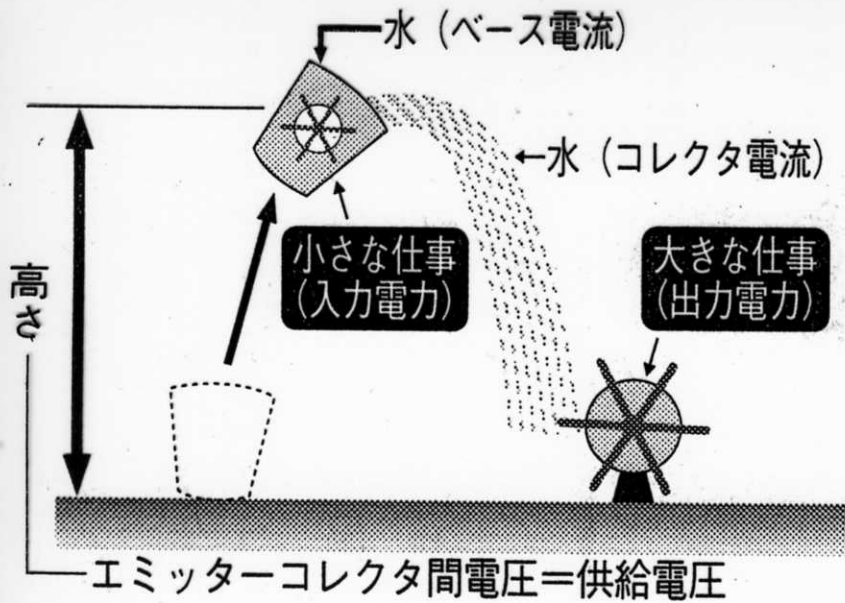
=



=

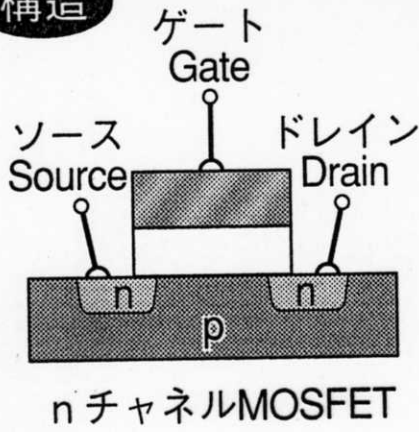


## 《バイポーラトランジスタの動作原理》



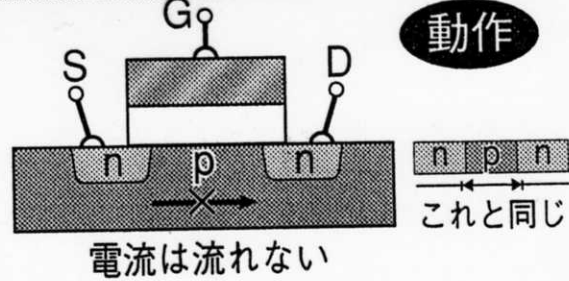
# 《MOSFETとは》

## 構造

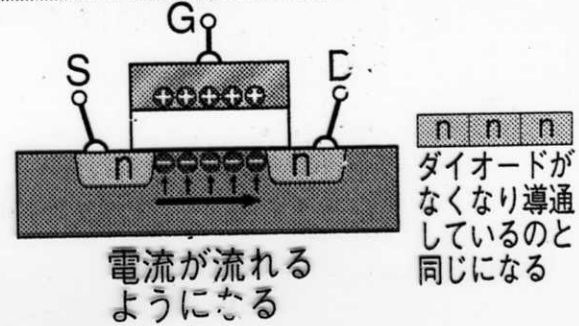


## 動作

◆ゲートに電圧をかけないと

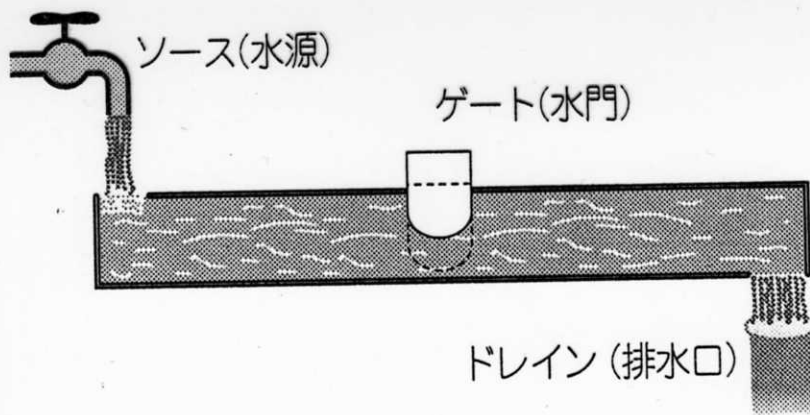


◆ゲートに $\oplus$ の電圧をかけると



## イメージ

MOSFETの動作は、「水の流れ」にたとえることができる

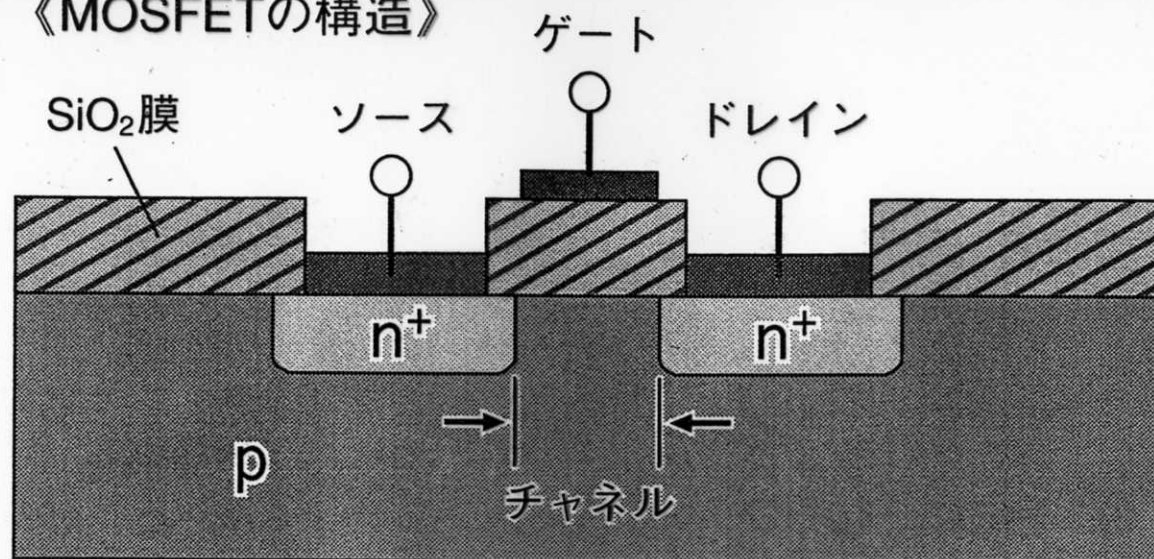


ゲートに加わる電気のカ

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》

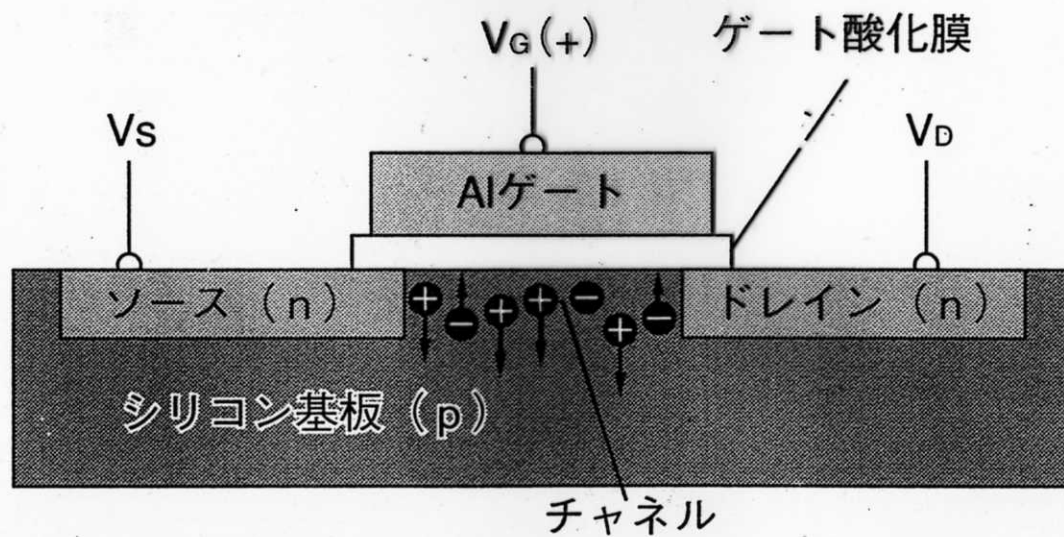




図1 《1桁分の加算規則》

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

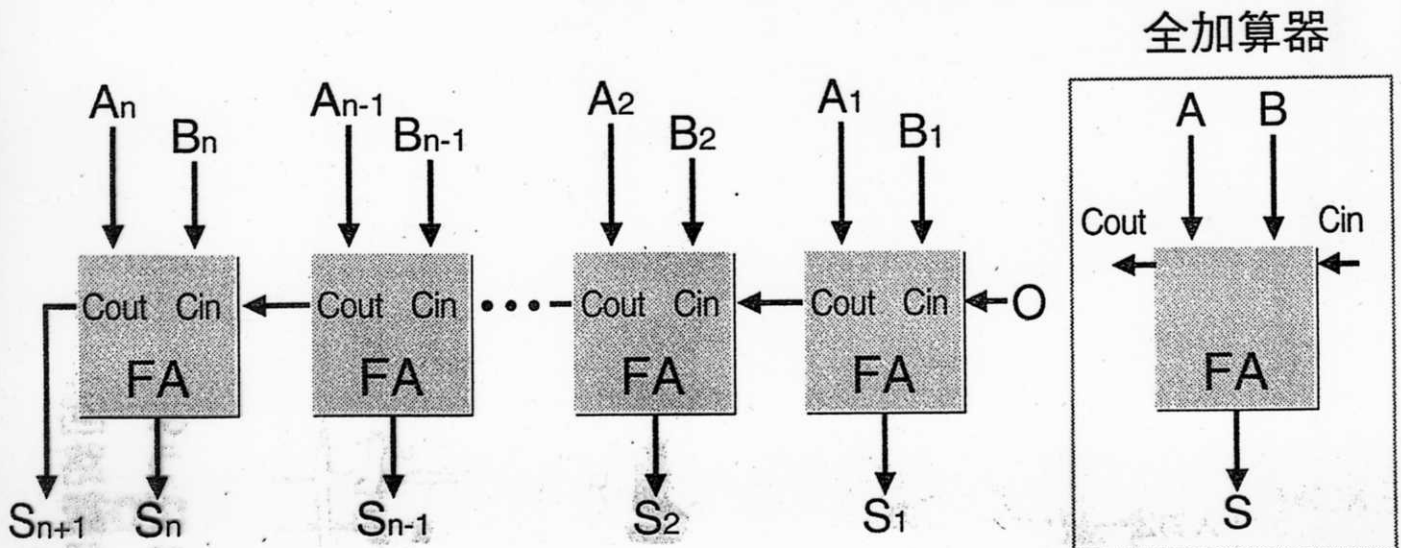
図2 《加算の例》

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 -----&gt;</p> <p>←----- 乗数 -----&gt;</p> <p>←----- 部分積 -----&gt;</p> <p>←----- 積 -----&gt;</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》

$\begin{array}{r} 1101 \overline{) 11111000} \\ \underline{1101} \phantom{00} \\ 10100 \\ \underline{1101} \\ 1110 \\ \underline{1101} \\ 1 \end{array}$	<p>←----- 商 -----&gt;</p> <p>←----- 被除数 -----&gt;</p> <p>←----- 部分被除数 -----&gt;</p> <p>←----- 余り -----&gt;</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)

<b>a</b>	<b>b</b>	<b>a·b</b>
<b>0</b>	<b>x</b>	<b>0</b>
<b>0</b>	<b>x</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>x</b>	<b>0</b>
<b>1</b>	<b>x</b>	<b>1</b>

### 図1《最も基本的な演算》

演算の種類

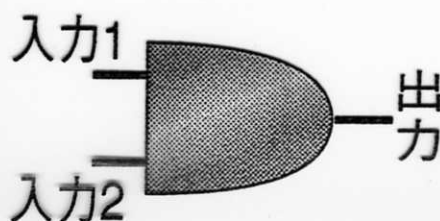
真理値表

論理回路記号

数式上の  
表記法

**AND**

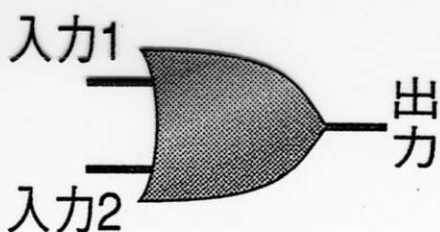
入力1	入力2	出力
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



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

**OR**

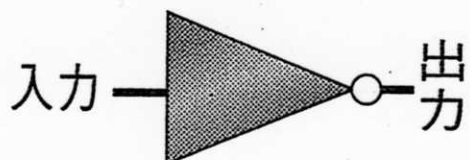
入力1	入力2	出力
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



$A + B$   
 $A \cup B$

**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》

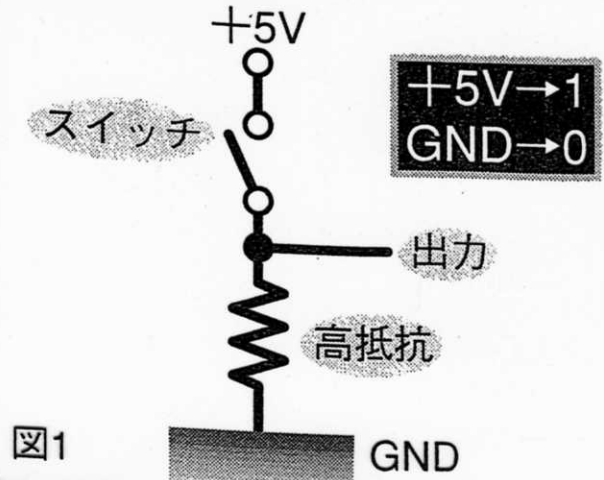


図3 《2進数から10進数の計算法》

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

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



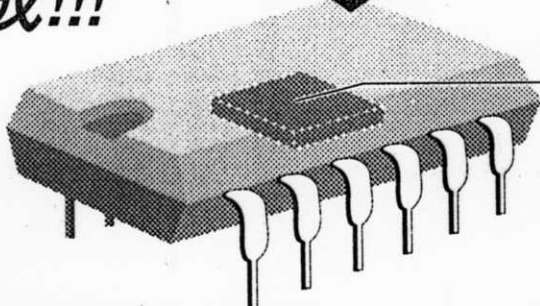
二酸化ケイ素  
(層間絶縁用)



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)

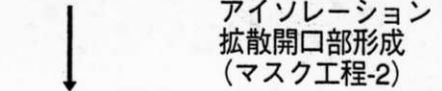
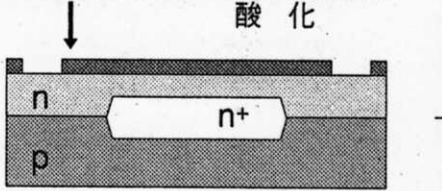
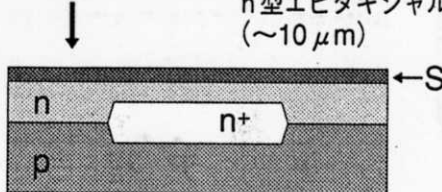
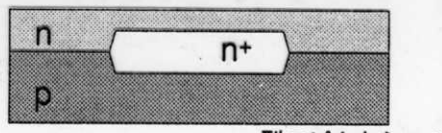
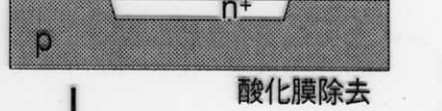
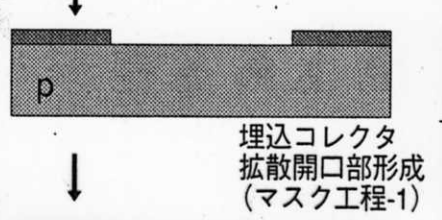
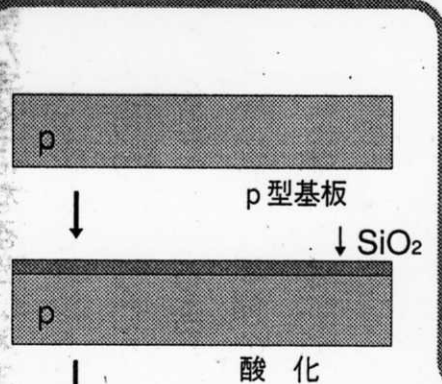
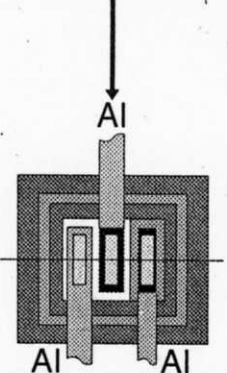
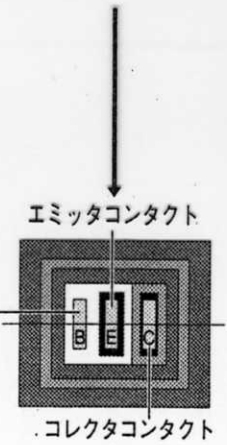
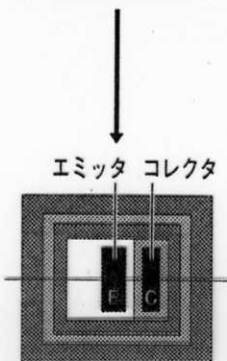
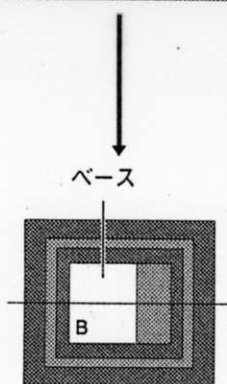
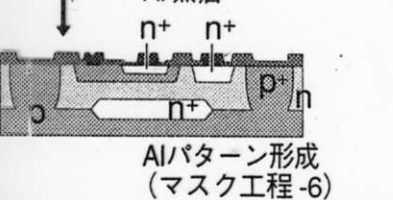
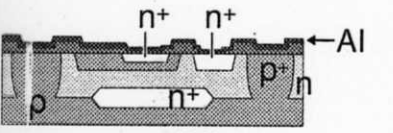
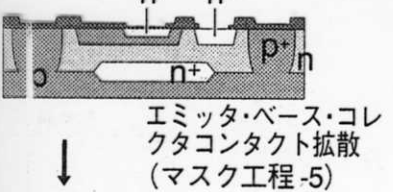
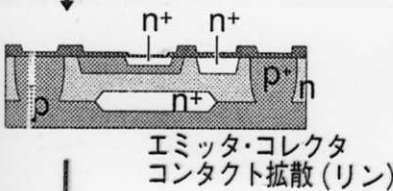
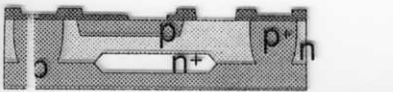
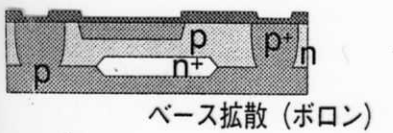
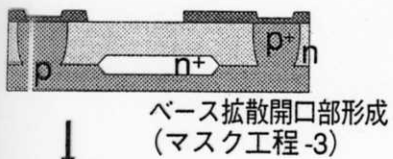
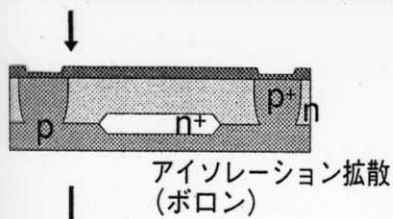
層間絶縁層である二酸化ケイ素を堆積して、後で接続したいところには穴 (コンタクト・ホール) をあける。

アルミニウムを堆積して素子と素子とをつないでいく。

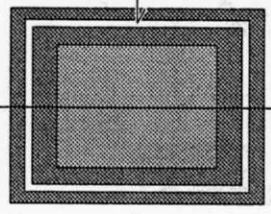
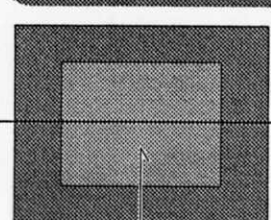
劣化を防ぐための表面処理 (パッシベーション)を行ない、パッケージに実装して完成

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。

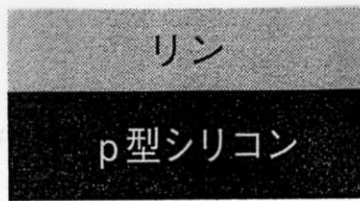




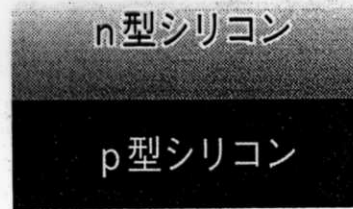
「最新LSIプロセス技術」前田和夫 著より



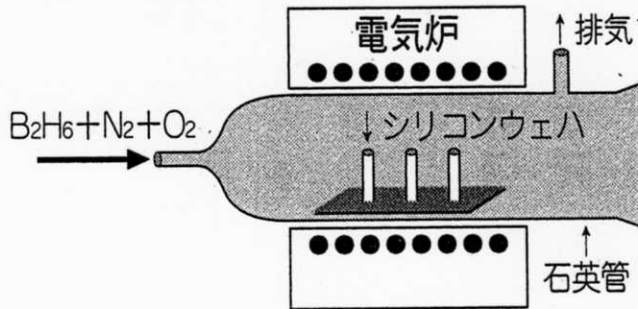
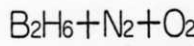
《拡散法》



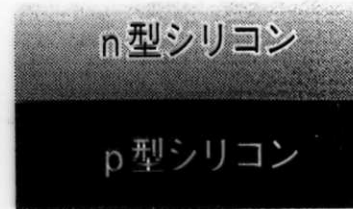
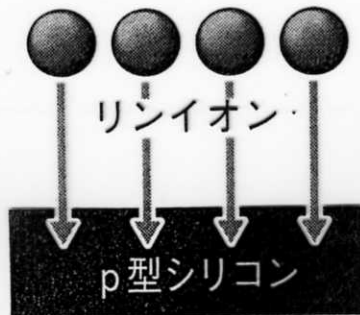
加熱する



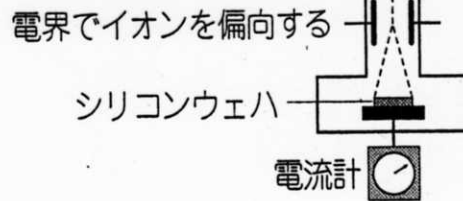
不純物拡散の例



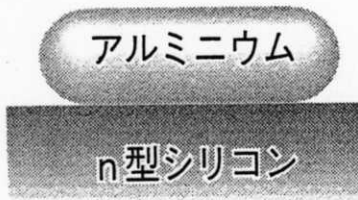
《イオン打ち込み法》



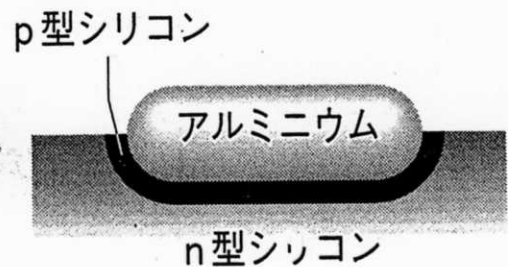
イオン打ち込みの原理



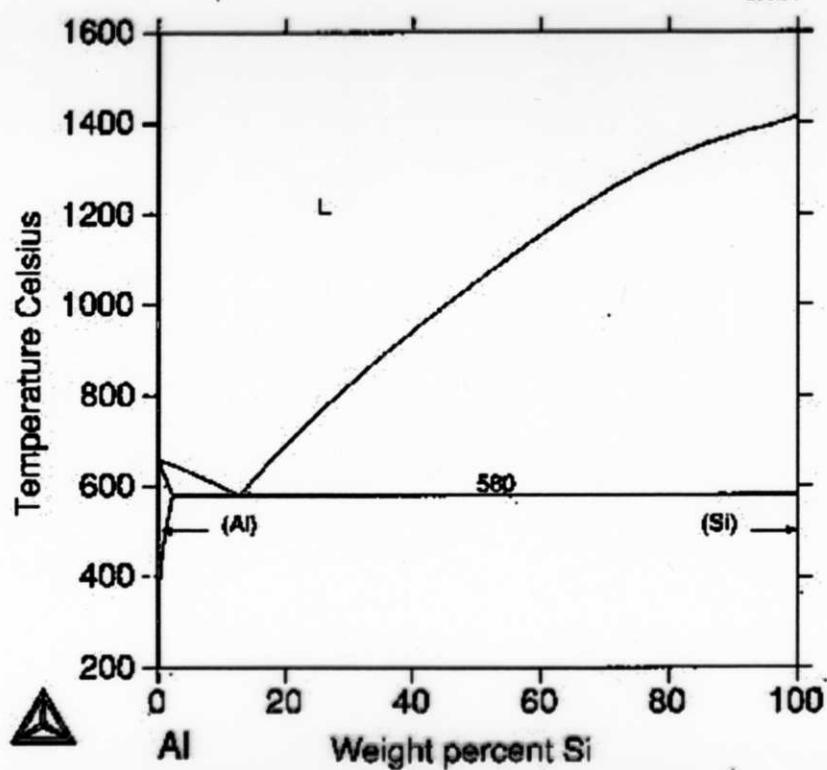
《合金法》



加熱する



## SGTE Phase diagram collection



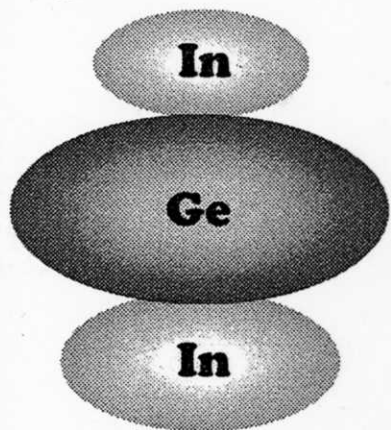
## Al-Si Crystal Structure Data

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

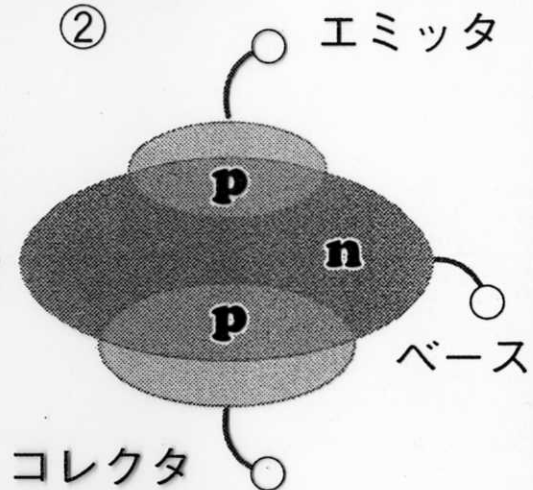
D. Ludecke, Z. Metallkunde Vol 77, (1986) p 278-283

《合金型接合トランジスタの概念図》

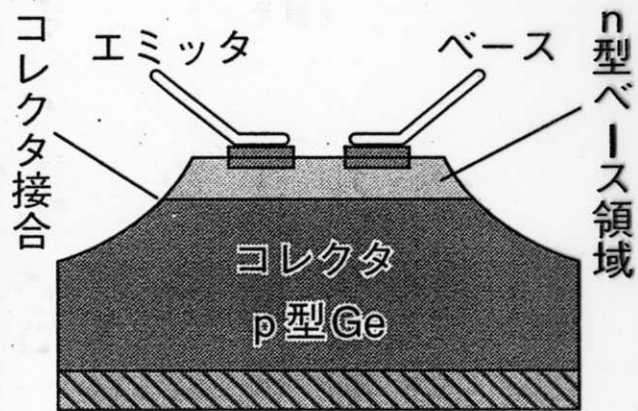
①



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》

