平成25年度前期東京工業大学学部講義

# 電子デバイス

## Electron Devices

資料（12）　*handout*

**Kazuya Masu**
Director, ICE Cube Center
Solutions Research Laboratory
Precision and Intelligence Laboratory
Dept. Electronics and Applied Physics

益　一　哉
異種機能集積研究センター
ソリューション研究機構
精密工学研究所
大学院・物理電子システム創造専攻

Tel & Fax: 045-924-5022 Email: masu@ieee.org,
http://masu-www.pi.titech.ac.jp/~masu/index-j.html

Green ICE Tokyo Tech Information Communication Energy
Semiconductor Solution Research

TOKYO TECH Pursuing Excellence



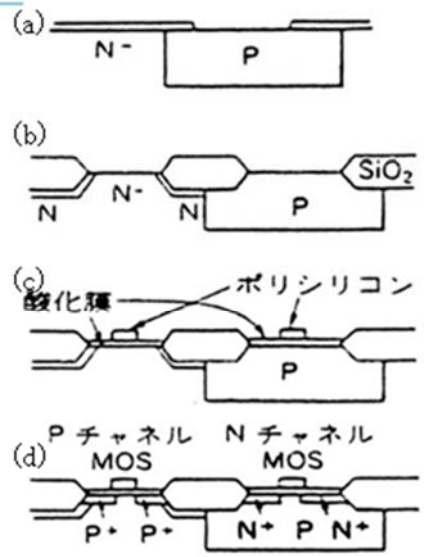
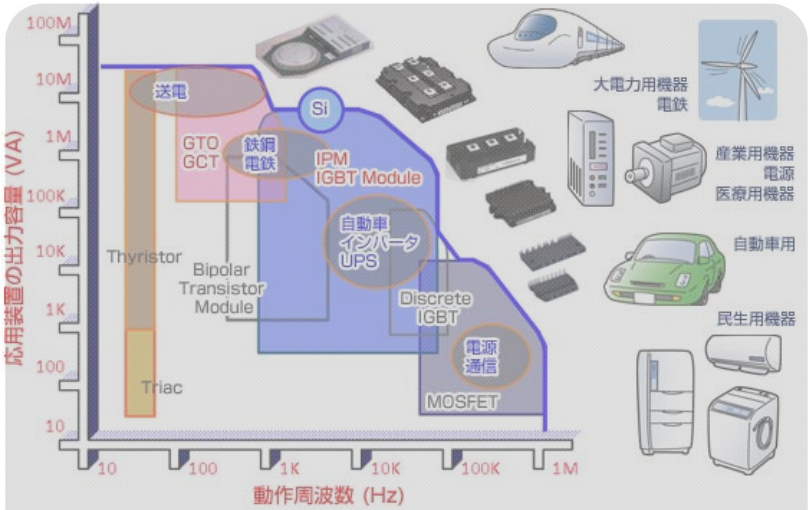



図3



## パワーデバイス応用の現状





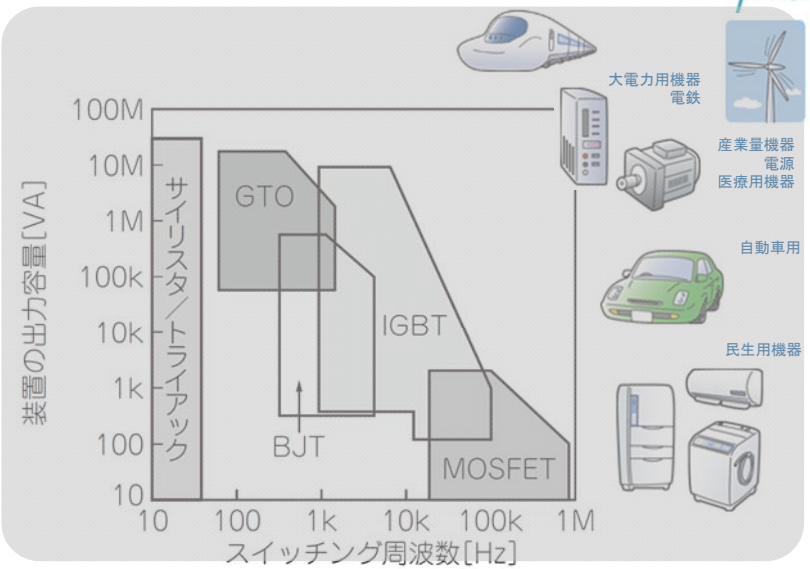

現在、中・大容量電力変換に適用されているパワーエレクトロニクス技術の発展の殆どが、IGBTやIPM技術の進化にて支えられている。

http://www.mitsubishielectric.co.jp/semiconductors/triple_a_plus/technology/01/index.html



## パワーデバイス応用の現状





## Power Devices



- サイリスタ　Thyristor
  - SCR（**S**ilicon **C**ontrolled **R**ectifier）　GEの商標
- Triac　Triode AC Switch
  （双方向サイリスタ）
- GTO　**G**ate **T**urn **O**ff thyristor
- IGBT　**I**nsulated-**G**ate **B**ipolar **T**ransistors
- BJT, MOSFET



## Breakdown voltage



$$V_{BR} \approx \frac{\varepsilon_s {E_{crit}}^2}{2qN_D}$$

- $V_{BR}$:降伏電圧、$E_{crit}$:臨界電界強度、$N_D$:ドーピング量
- 耐圧を取るには
  - $E_{crit}$: 概ね$10^5$ V/cm　程度
  - ドーピング量を下げる。
  - 半導体(i)層を厚く。

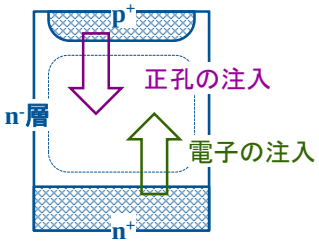


## PIN diode



- PIN:p-type/insulating-semiconductor/n-type

- i層を挟むことで耐圧向上
- i層は$10^{12}$cm$^{-3}$程度のドーピング量では高抵抗なのでon 抵抗は大きい？



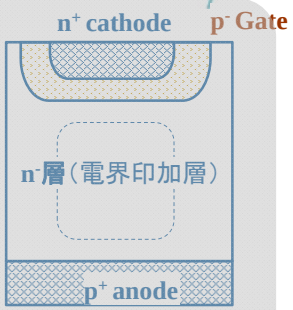

- 順方向バイアス時には、P+、N+の両方から正孔及び電子が注入
- ドーピング量よりも高い濃度になり、大電流が流れる（＝低抵抗）［伝導度変調］

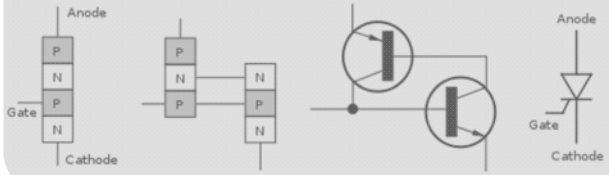


## Thyrister



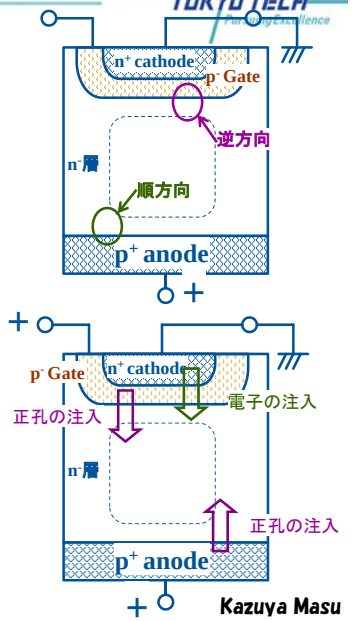
- Pnpn接合から構成
- Gate電圧印加によりon となる。



# Thyrister

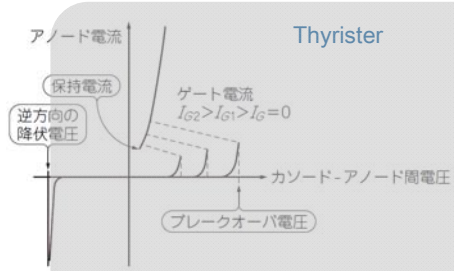
- Gateバイアスなし：P+ anode:正
  - 電流は流れない。
- $p^+$gateにバイアス印加
  - Gateに正孔を注入（$n^+$ cathodeをエミッタとしたトランジスタ）
  - 注入された正孔電流のβ倍の電流が流れる。（$n^-$コレクタに流れる）
  - P+アノード/n-/p-gateもトランジスタであるので、n-層には電子と正孔の両方が流れる。（伝導度変調）
  - ゲート電圧をゼロにしても、アノード電圧がある程度小さくなるまでoffにならない。



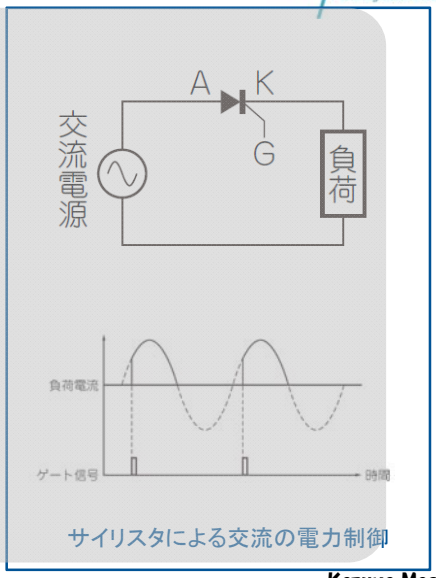





# Thyrister, GTO




GTO
- 自己消弧能力をもつサイリスタ
- 制御回路が複雑・高価になるので、最近はIGBTが広く利用

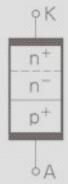
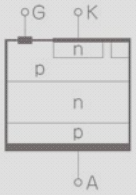



サイリスタによる交流の電力制御





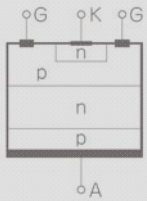
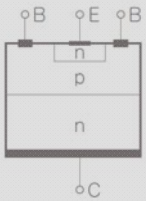
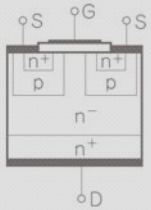
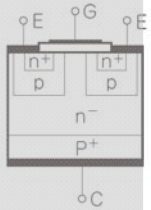
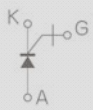
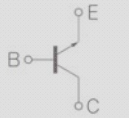
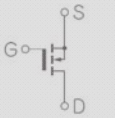
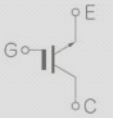
# パワーデバイスの構造と等価回路

| | | ダイオード | サイリスタ |
|---|---|---|---|
| 接合構造 | |  |  |
| シンボル | | | |
| 電気的特性の数値例 | オン電圧[V] | 1.8 | 2.5 |
| | スイッチング時間[μs] | — | 400 |
| | 定格電圧[V] | 4000 | 4000 |
| | 定格電流[A] | 1600 | 3000 |



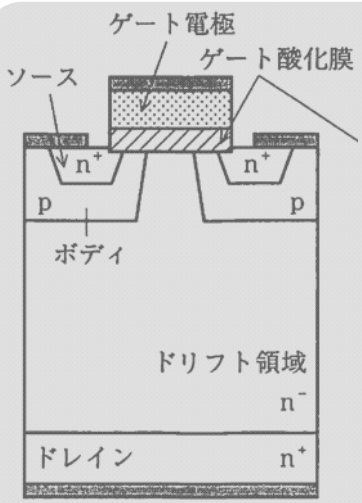


# パワーデバイスの構造と等価回路

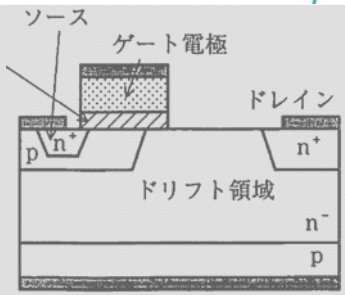
| | GTO | BJT | MOSFET | IGBT |
|---|---|---|---|---|
| |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |
| Von [V] | 3.5 | 2.5（ダーリントン） | 5（0.1Ω） | 2.2 |
| τ[μsec] | 25 | 18 | 0.35 | 1.5 |
| Voltage [V] | 4500 | 1200 | 500 | 1200 |
| Current [A] | 3000 | 600 | 50 | 400 |

# Power MOSFET （Double Diffused MOSFET）






縦型




横型

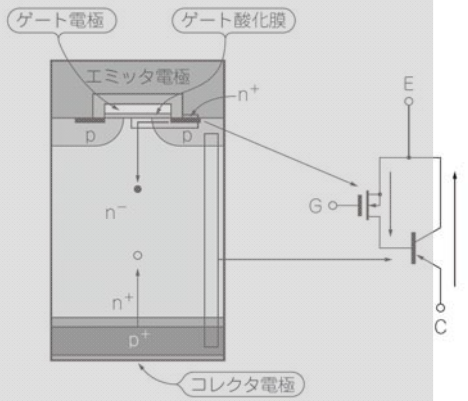
- 欠点：
- 伝導度変調を利用していない。On 抵抗が小さくならない。高動作電圧化に難！

Kazuya Masu

# IGBT



- ドリフト層の伝導度変調が可能なように、コレクタをp+にした単純な構造。
- 6000V級の高耐圧デバイスが実現

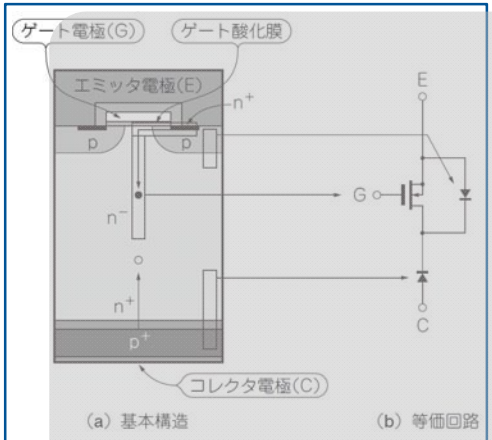



(a) 基本構造　(b) 等価回路

Kazuya Masu

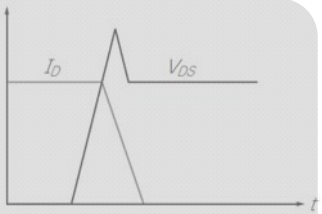
# IGBT



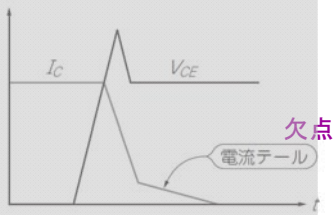



(a) 基本構造　(b) 等価回路

最近は、MOSFETと不完全pinダイオードとして表す等価回路が利用されるようになっている。




(a) MOSFETのターンオフ波形

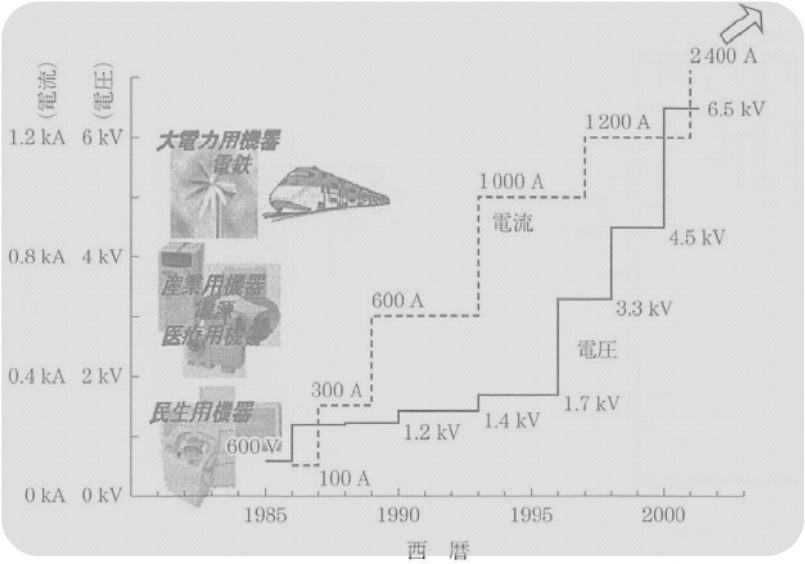



(b) IGBTのターンオフ波形

Kazuya Masu

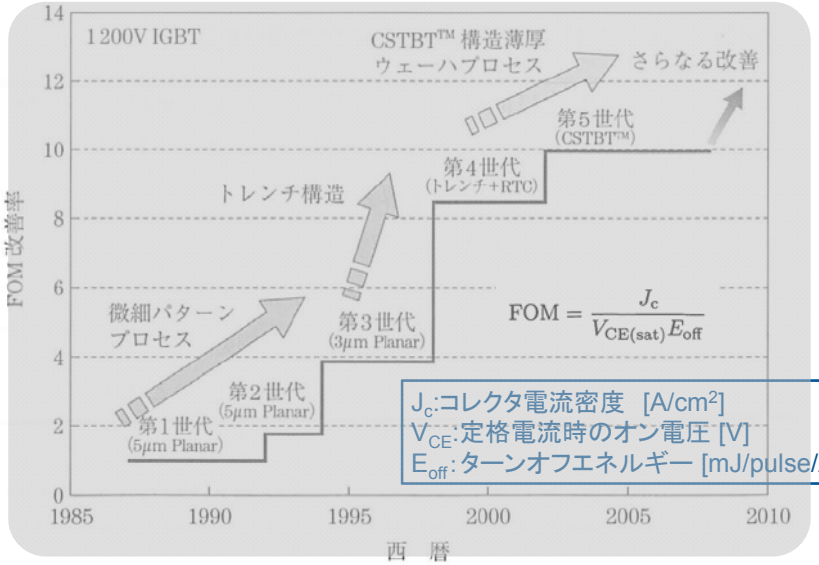
# Progress of IGBT





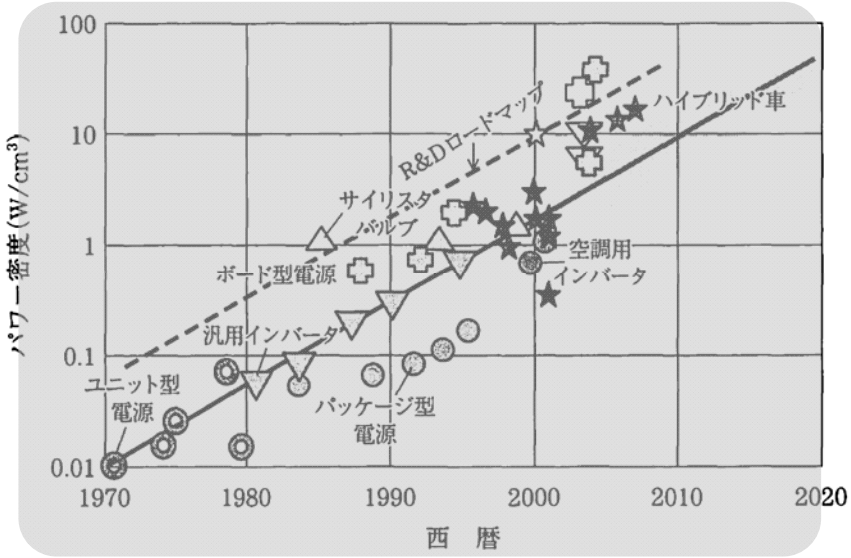

Kazuya Masu

# Progress of IGBT




$J_c$:コレクタ電流密度 [A/cm$^2$]
$V_{CE}$:定格電流時のオン電圧 [V]
$E_{off}$:ターンオフエネルギー [mJ/pulse/A]





# パワー密度から見た電力変換器