第15回OEGセミナー　2010.7.13.

最近の車の電子化と車載部品の信頼性

株式会社デンソー
デバイス開発部　岩森則行

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

目次

✓会社概要

✓車載半導体のモチベーション

✓車載半導体への要求

✓弊社の車載半導体前工程への取組み

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

Corporate Profile

DENSO

※このスライドは未配布

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

Main Products

Environment

Gasoline engine management system,
diesel engine management system,
hybrid and electric vehicle components,
starter, alternator, radiator, etc.

Comfort

Car air conditioning system,
air conditioner for buses, air purifier, etc.

Safety

Sensing technologies for driving assist systems,
actuator & computer for antilock brake system (ABS) /
electronic stability control (ECS),
adaptive front-lighting system (AFS),
airbag sensors & electronic control units,
periphery monitoring system, instrument cluster,
rain sensor for automatic windshield wiper, etc.

Convenience

Car navigation system,
electronic toll collection system (ETC),
remote security system,
remote touch controller, smart key,
advanced vehicle operation system (AVOS),
etc.

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

Electronics device products

Sensor

- ✓ Pressure
- ✓ Magnetic
- ✓ G, Yaw
- ✓ Optical

MAPS

G

Speed

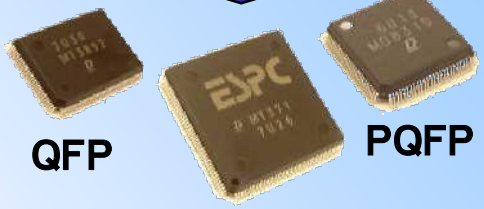
High P

Optical

MIC

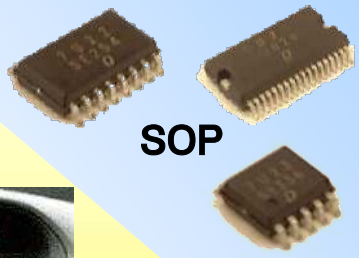
- ✓ ASIC
  (CMOS, Bipolar, BCD)
- ✓ u-Com
- ✓ Power device

Si wafer



QFP

PQFP



SOP

HIC

- ✓ Controller
- ✓ Regulator etc.

IC Reg.

Motor Controller

Head light Controller

Power Card for HEV

Display

- ✓ In-OEL
- ✓ OEL

Center Meter

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

目次

✓会社概要

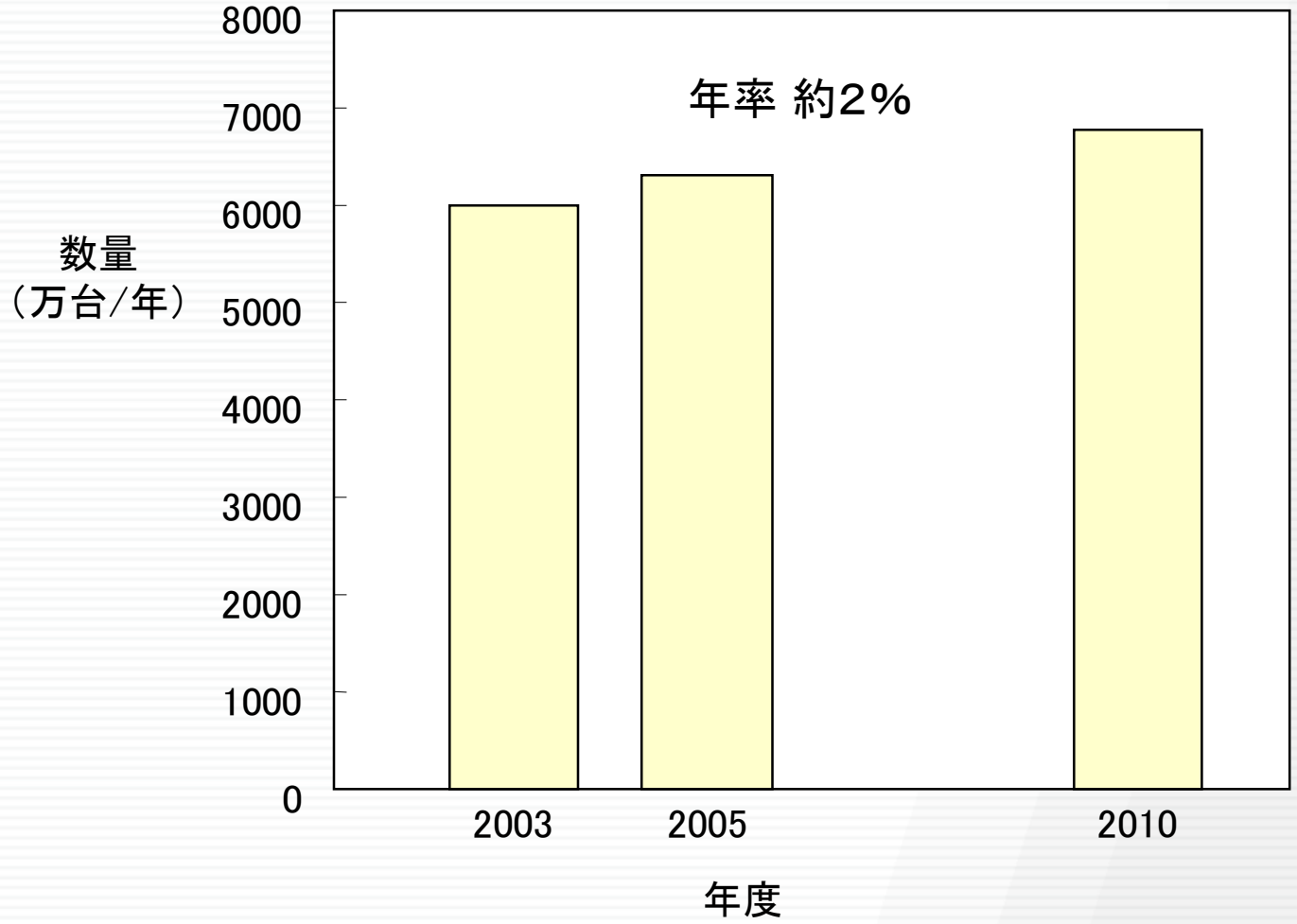
✓車載半導体のモチベーション

✓車載半導体への要求

✓弊社の車載半導体前工程への取組み

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

世界自動車生産台数の推移

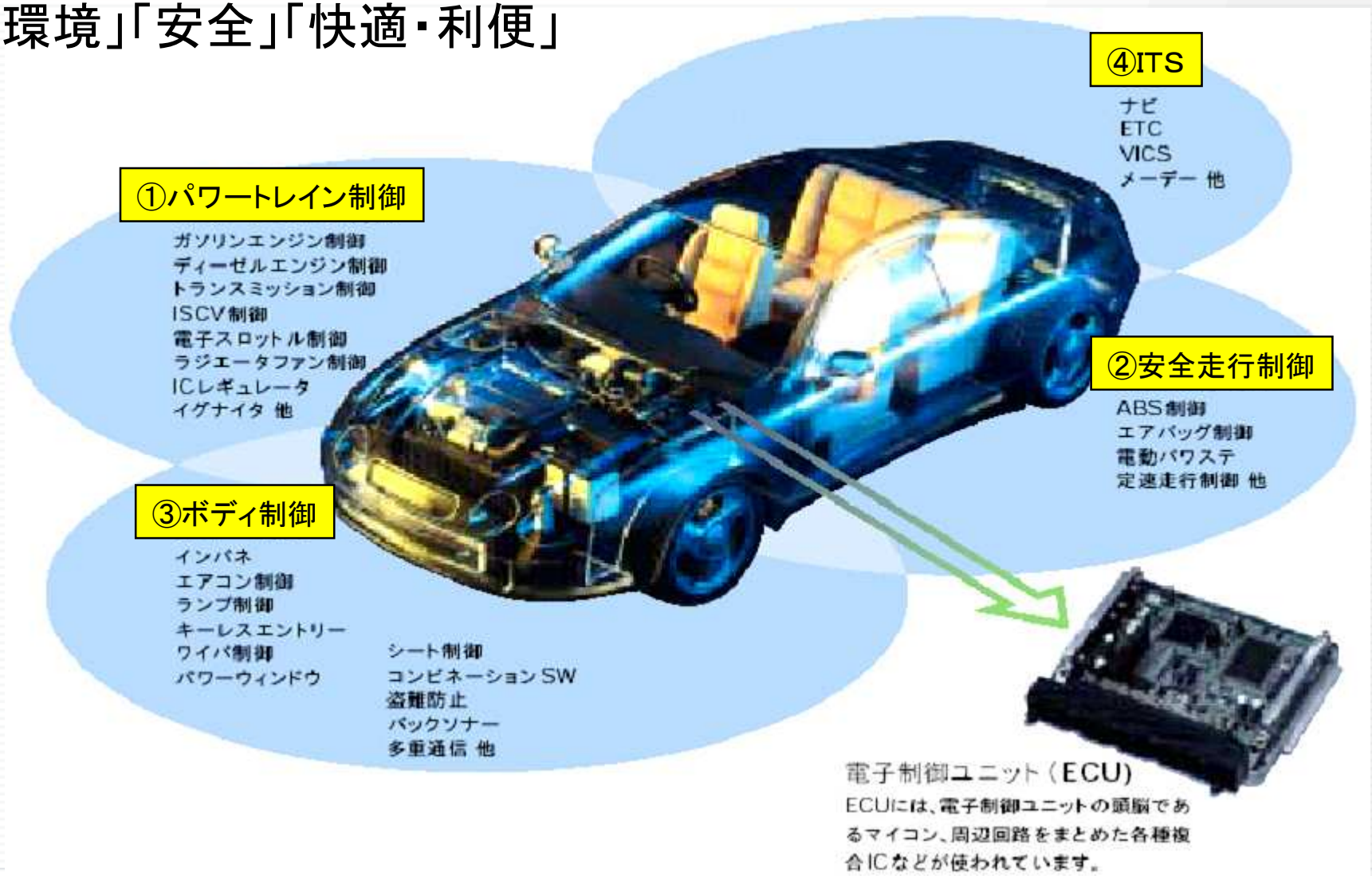


DENSO

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

自動車用エレクトロニクス

「環境」「安全」「快適・利便」

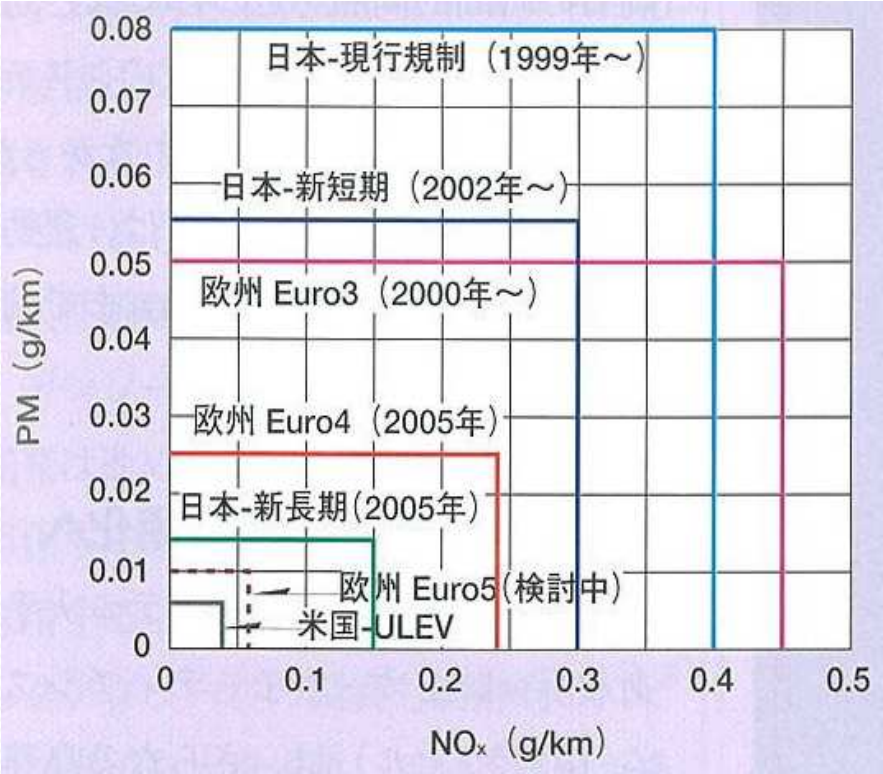


DENSO

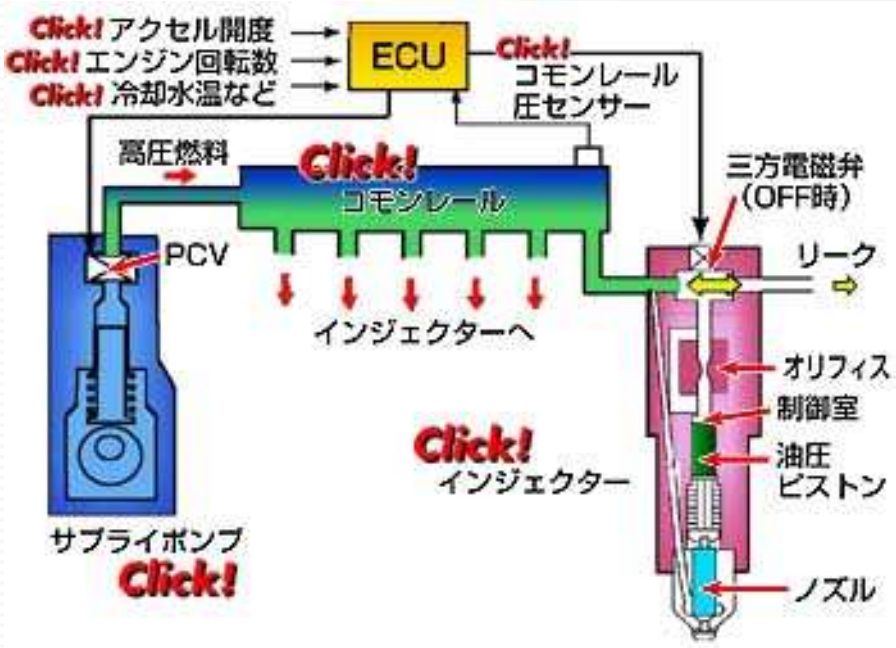
Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

自動車エレクトロニクス　ニーズ・システム例①

■「環境」: 排ガス規制（世界動向）



■「環境」: コモンレールシステム



・燃料の高圧化
・燃料噴射の多段化・・・
・エンジンECUで電子制御

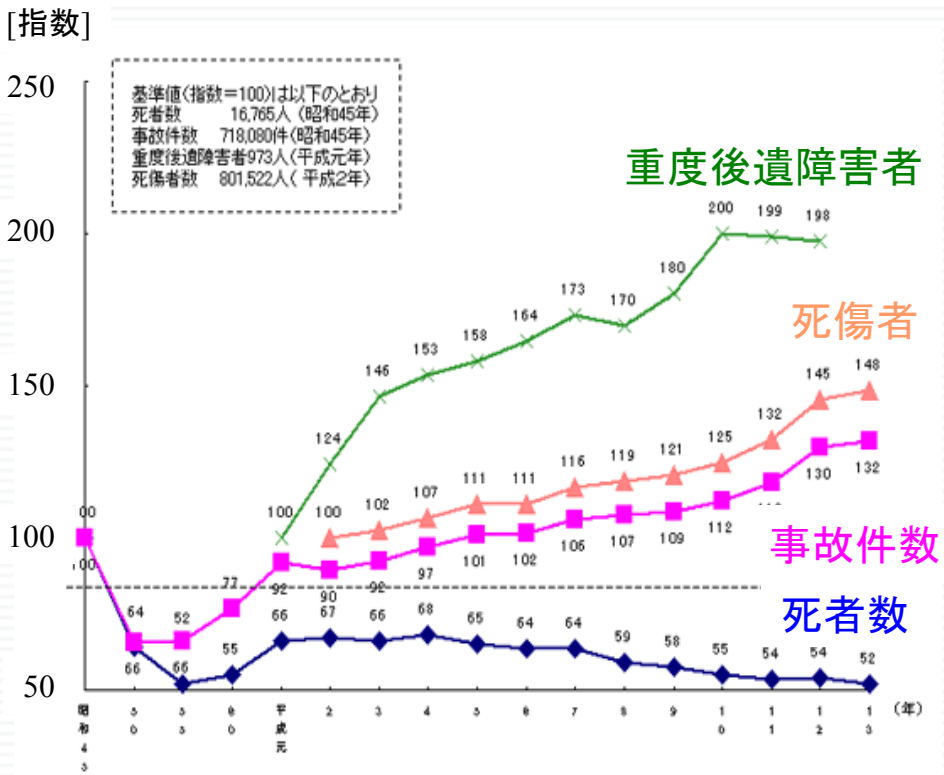
出展: 日経BP オートモーティブ・テクノロジー 2003.

出展　http://www.denso.co.jp/CARPARTS/japan/index.html

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

自動車エレクトロニクス　ニーズ・システム例②

■「安全」: 自動車事故の推移（日本）

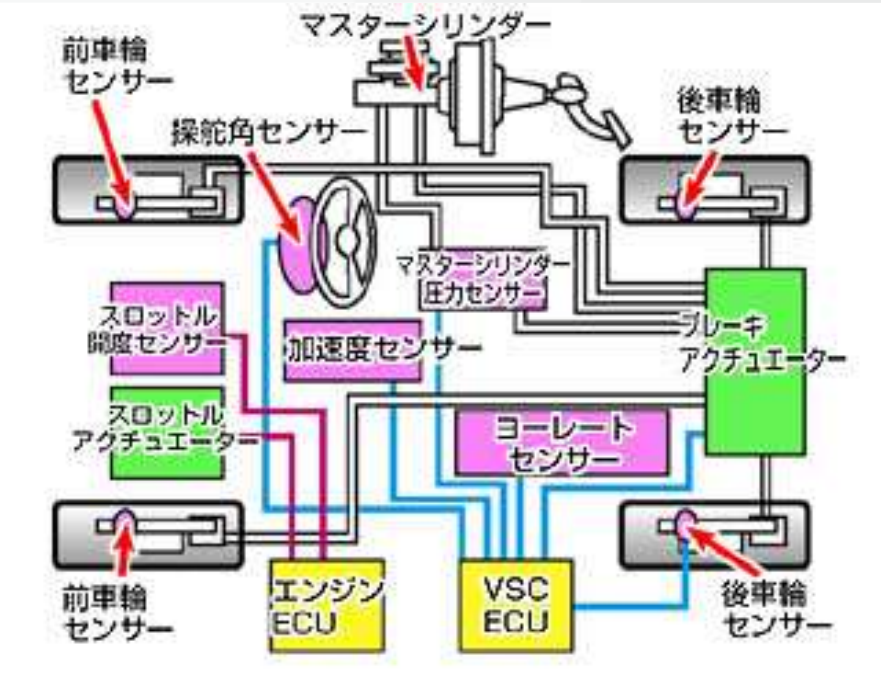


出展: http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/shou/01sinnkoku/01.html

■「安全」: 車両安定性制御

（VSC※: Vehicle Stability Control）

※Vehicle Stability Controlはトヨタ自動車の呼称



・各種センサで車両横滑りなど検知
（加速度、ヨーレート、車輪速等）
・VSC ECUで電子制御

出展　http://www.denso.co.jp/CARPARTS/japan/index.html

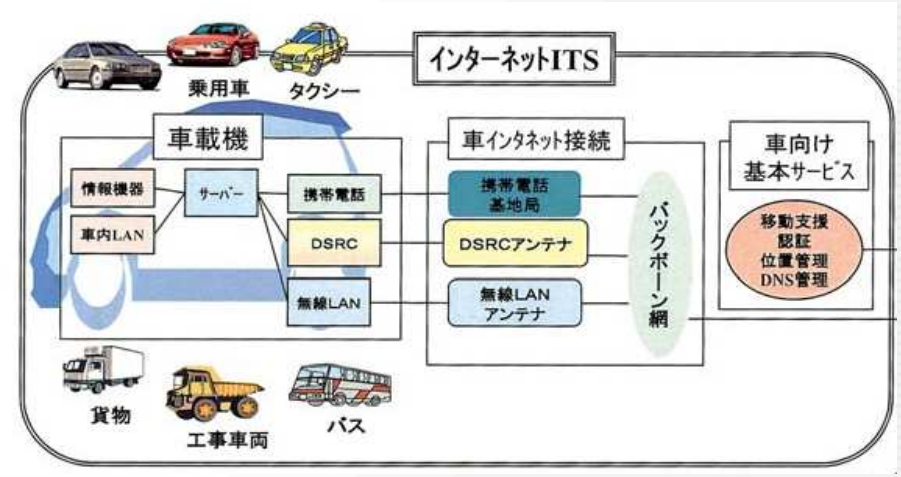
Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

自動車エレクトロニクス　ニーズ・システム例③

■「安全」「利便」: 周辺監視

出展:　日経ｴﾚｸﾄﾛﾆｸｽ2003.8.4

■「利便」: インターネットITS



・どんな車も、いつでも、どこでも
　インターネットにつながり、
　サービス享受できる社会基盤

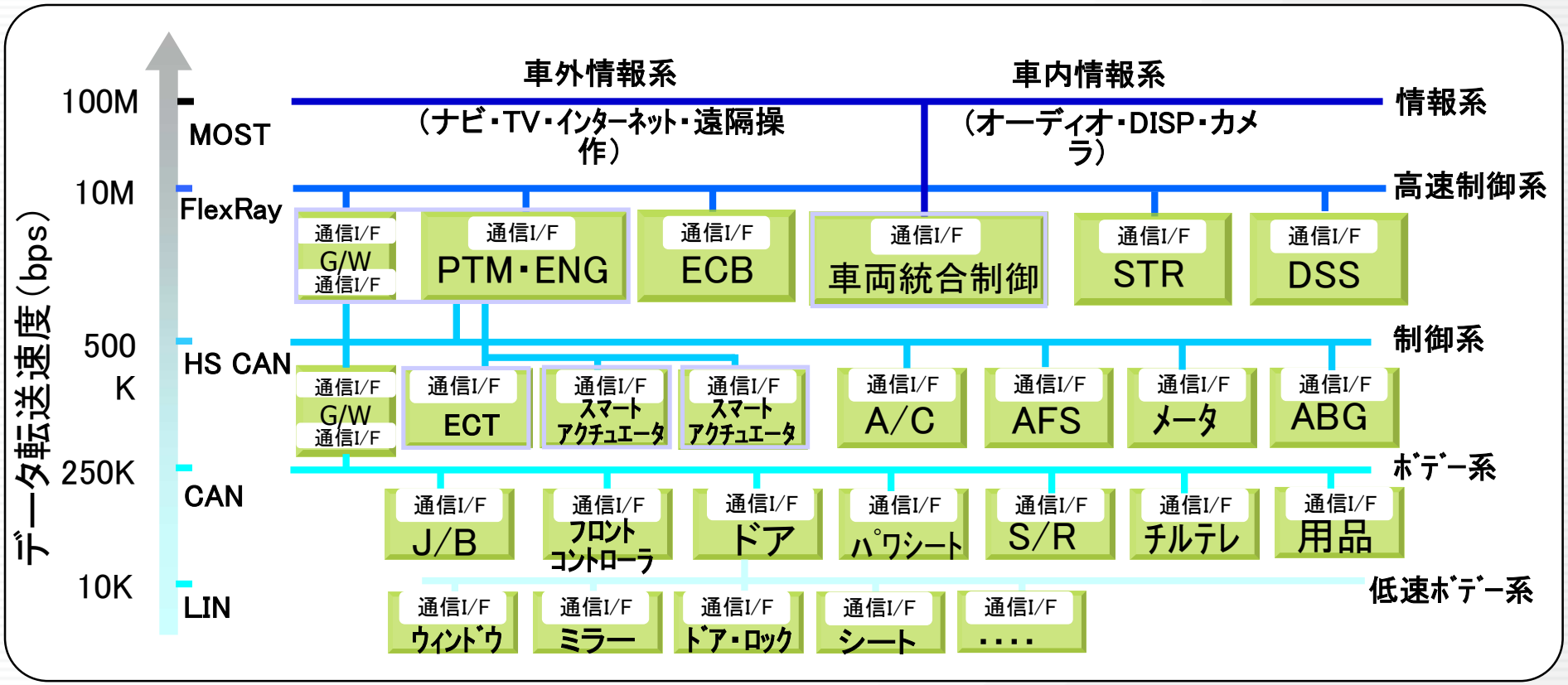
出展: ﾃﾞﾝｿｰﾃｸﾆｶﾙﾚﾋﾞｭｰVol6.1

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

自動車エレクトロニクス　ニーズ・システム例④

①ＥＣＵの増加：　高級車で～100個
②軽量化　　：　ワイヤーハーネス重量～数10kg（0.数km/L）

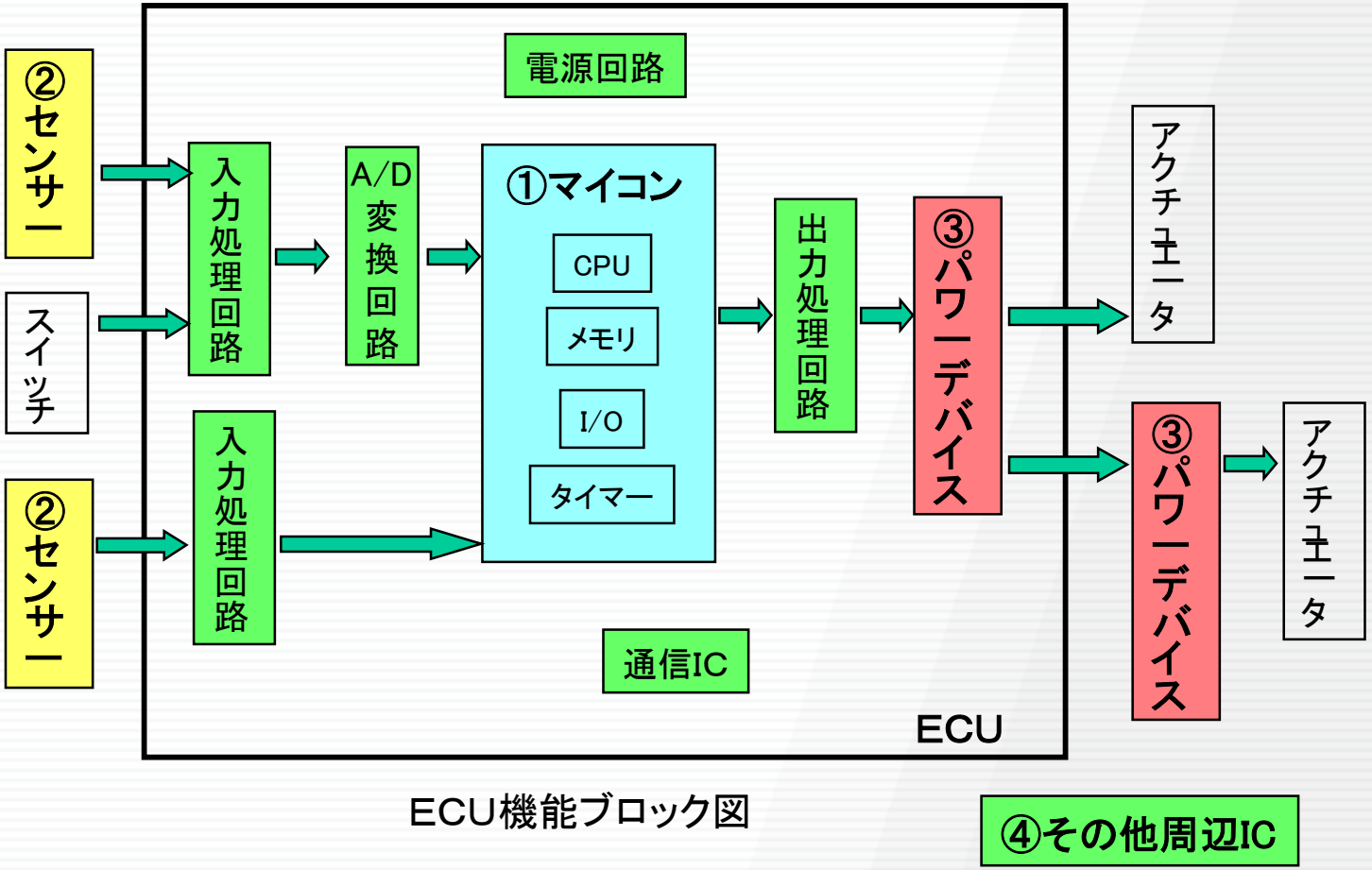
車内ネットワーク化進展



Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

自動車用 半導体デバイスの主な分類

■例：エンジン制御システム

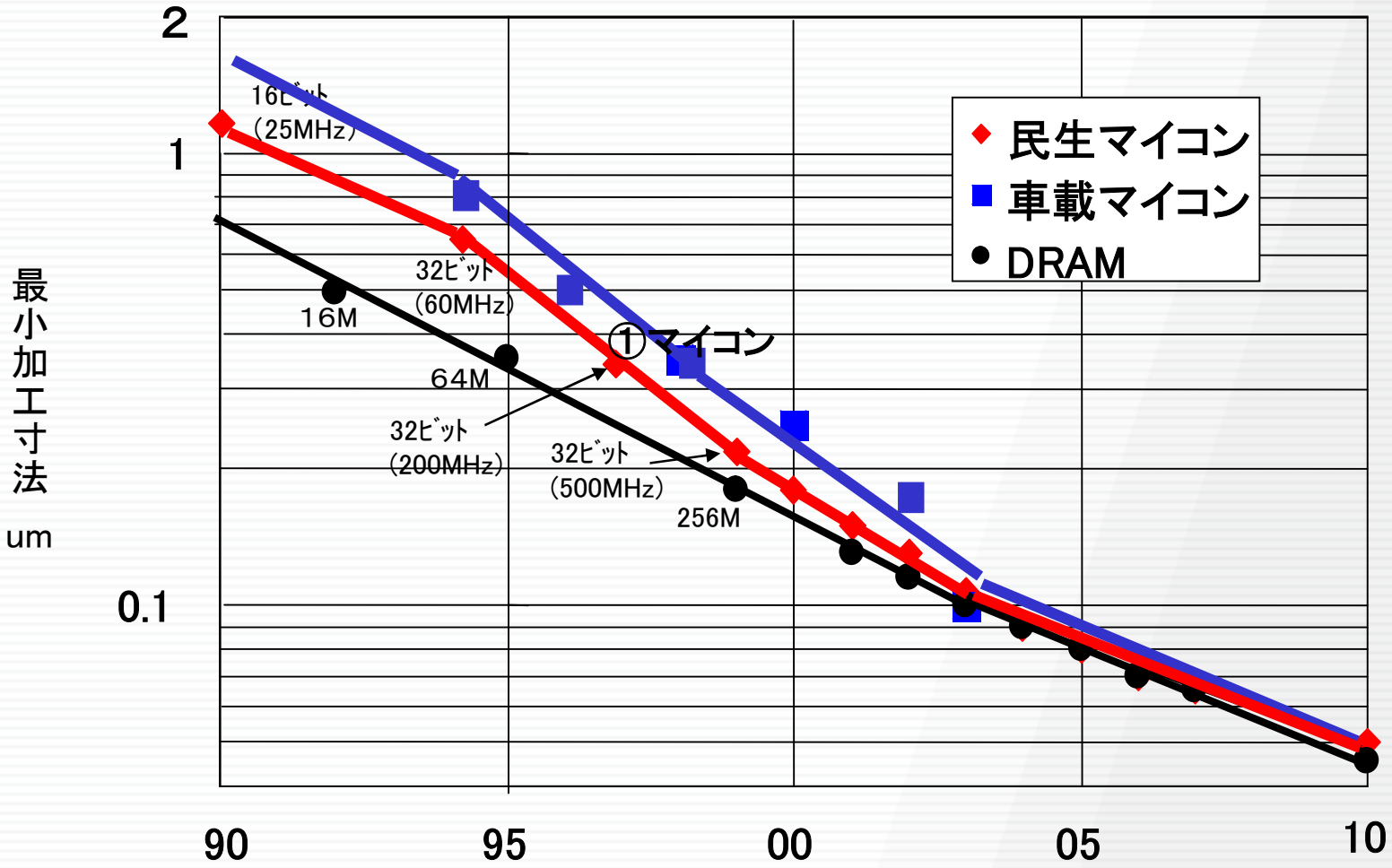


ECU機能ブロック図

④その他周辺IC

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

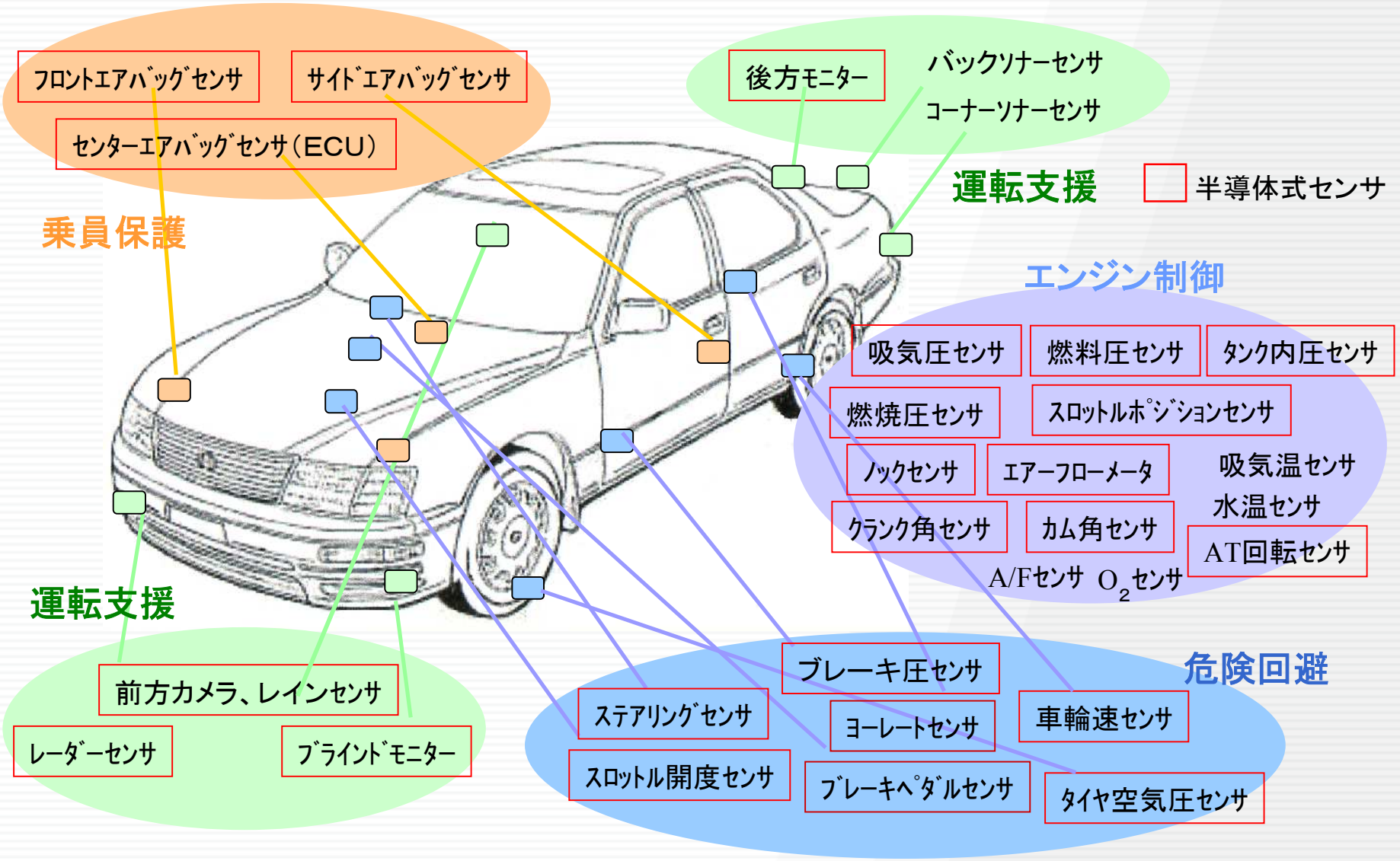
① マイコン微細化



出展：2001年以降はITRSロードマップ01年版

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

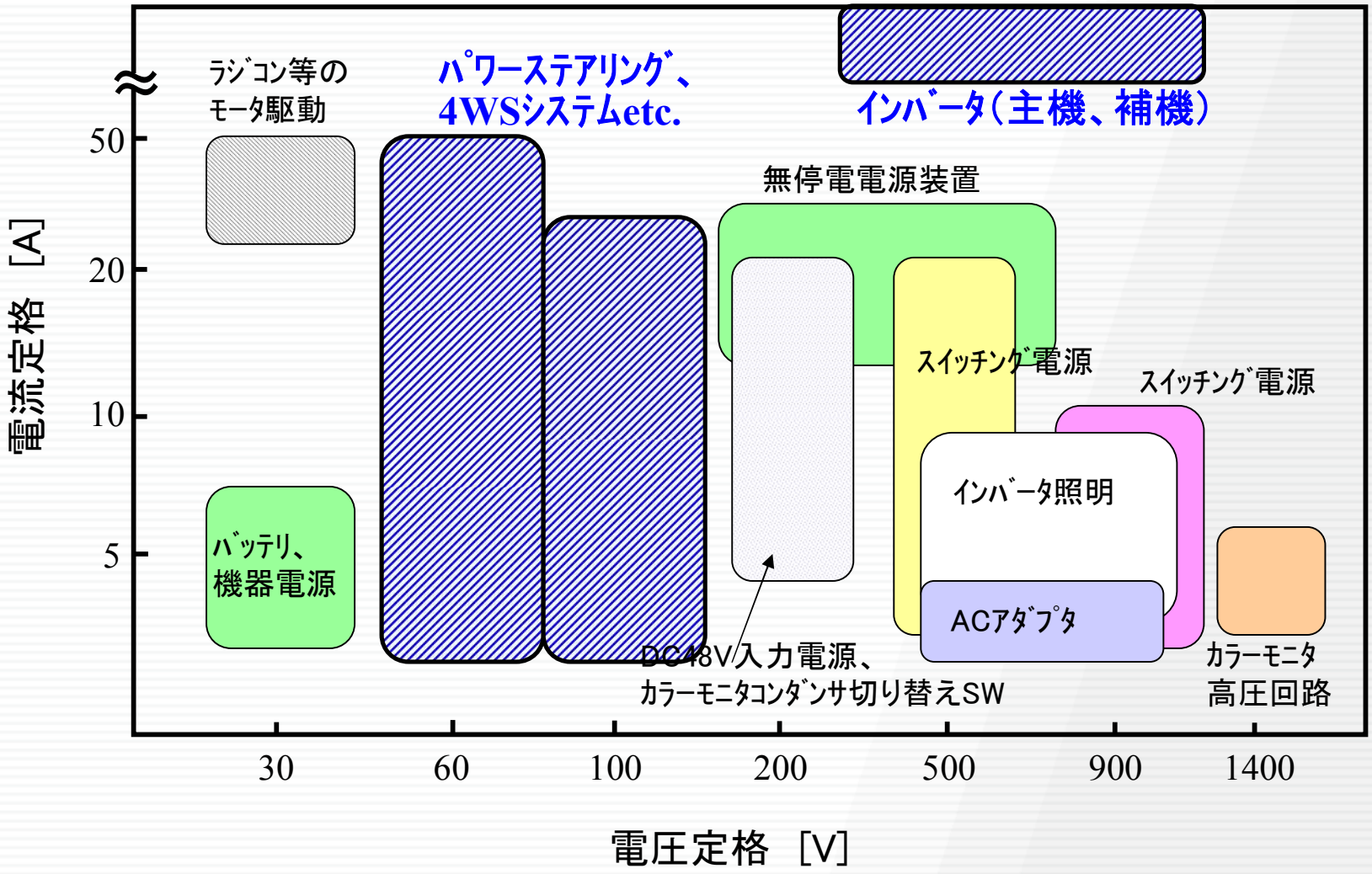
② センサ・バリエーション



DENSO

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

③ パワーデバイス



Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

HVを取り巻く環境

◆市場環境の変化 ：「環境規制・強化」、「資源・高騰懸念」⇒消費動向の変化

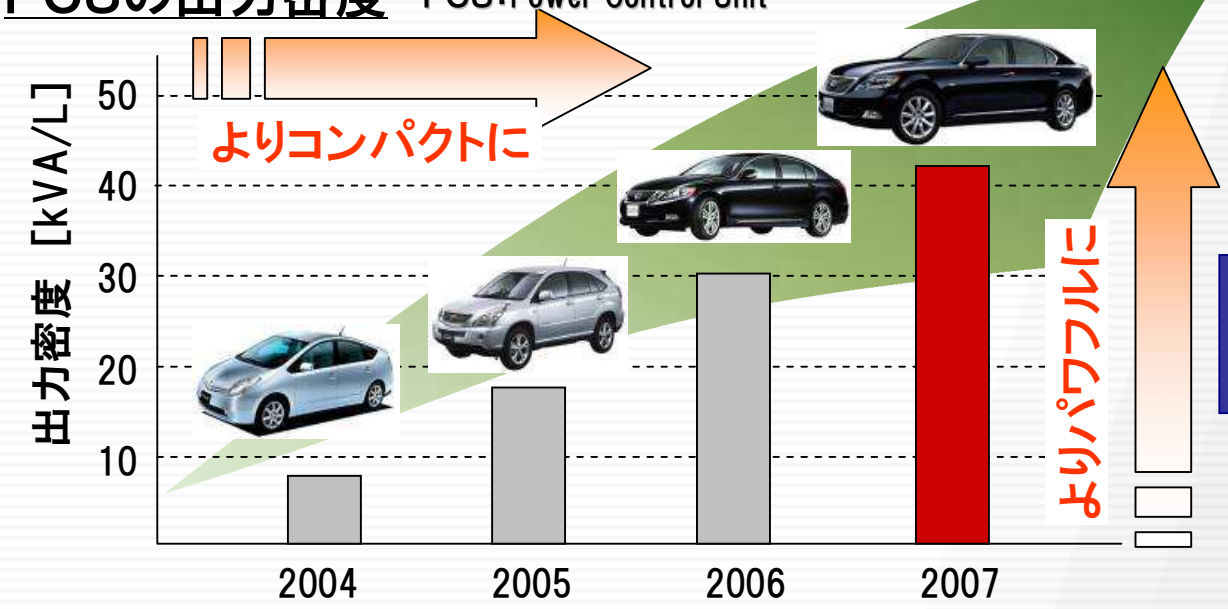
◆開発動向 ： 普及に向けたフェーズ

ニーズ

・HVのうれしさ ：車両コスト ー 燃費
・車としての楽しさ ：動力性能の向上
・選択肢の提供 ：様々な車種への対応

→ 小型化 / 高出力化 → 出力密度UP

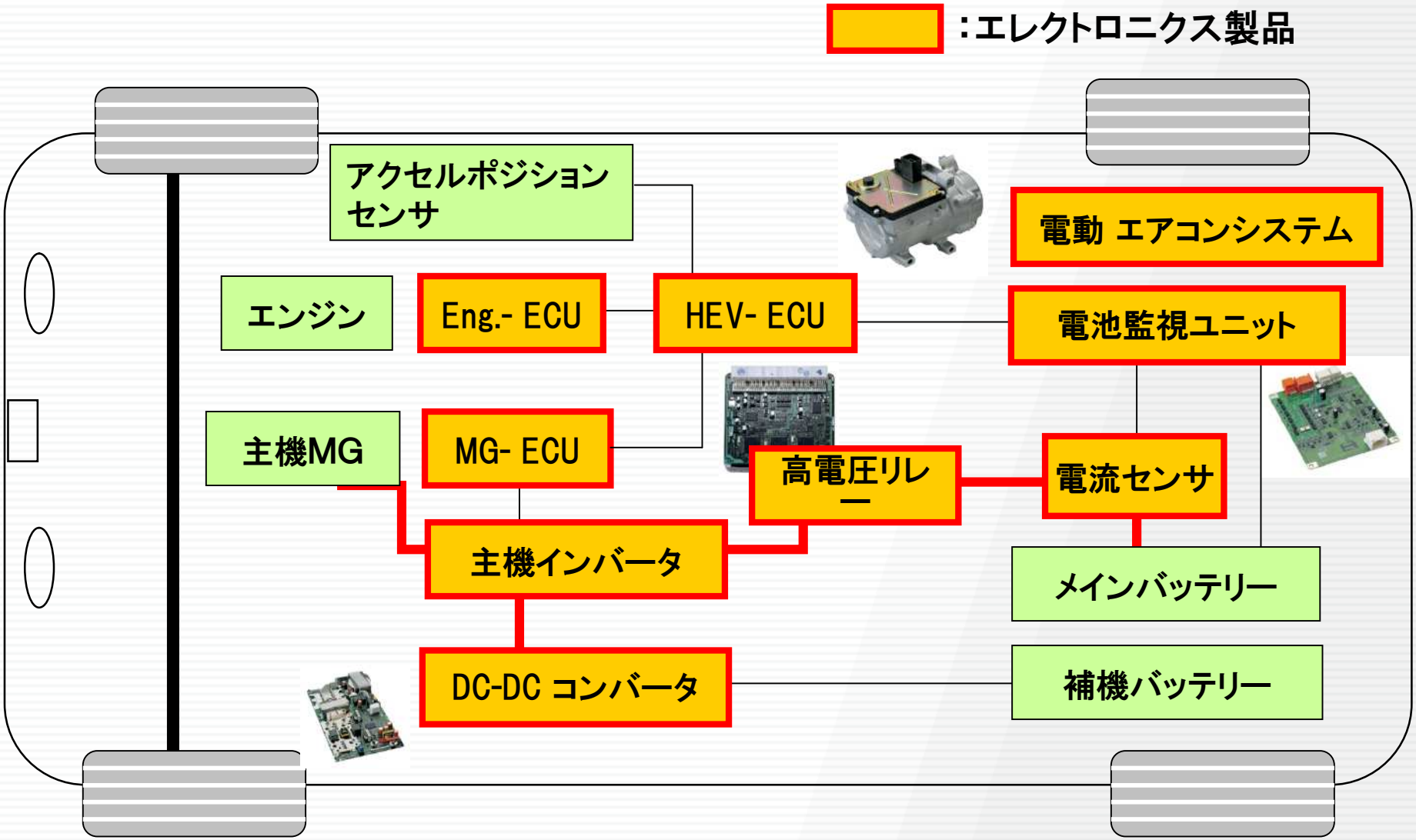
◆ PCUの出力密度 PCU:Power Control Unit



出力密度UP
⇒ 放熱性能を向上

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

HVの構成例



Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

自動車に使用されるシリコンウェハ

DENSO

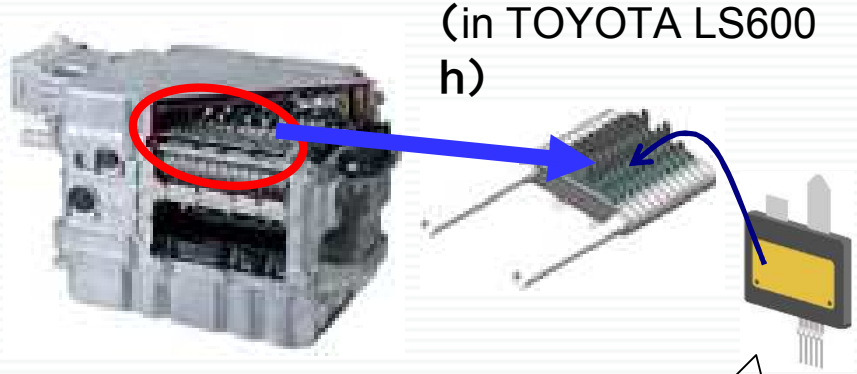
※このスライドは未配布

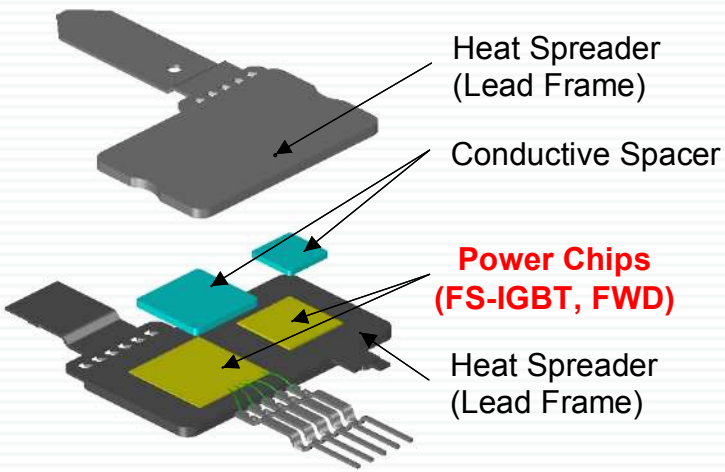
Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

Power device for HV（弊社事例）

Power Control Unit

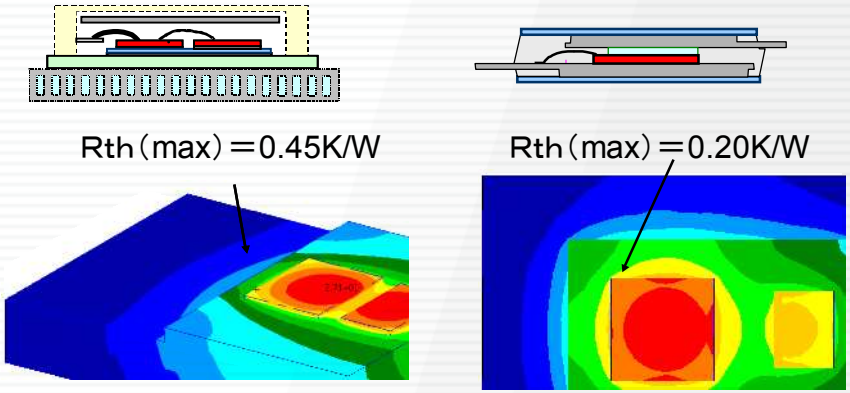
（in TOYOTA LS600 h）

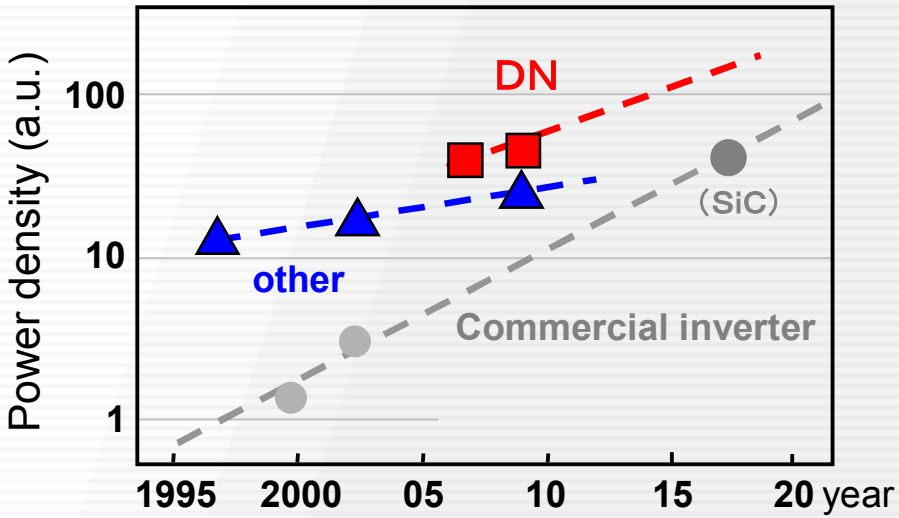




Power Card

Single side cooling (other company)	Double side cooling (DENSO)





DENSO

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

④ ECU周辺IC例（弊社事例）

■ ECUの周辺IC

・センサ等の信号入力処理、AD変換・・・

・出力制御（プリドライバ、ドライバ）、車内通信・・・

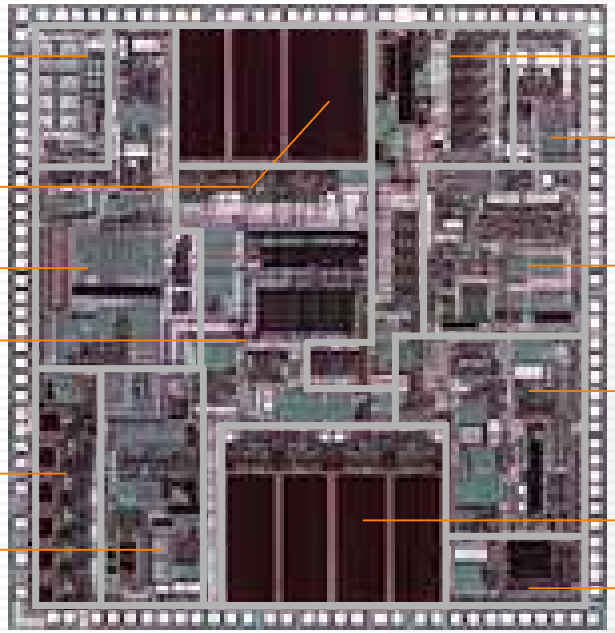
・電源・・・

■ 特徴

・CMOS、Bip、BiCMOS、BiCDMOS・・・

・ECU小型化を左右（カスタムIC化）

■ DN例：ボデーECUの周辺統合IC （BiCDMOSプロセス）



Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

目次

✓会社概要

✓車載半導体のモチベーション

✓車載半導体への要求

✓弊社の車載半導体前工程への取組み

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

自動車用半導体への要求

			Automobile	Consumer
Quality	Environment	Tj	-40～175 (200) ℃	0～125 ℃
		振動	50 G	5 G
		静電気	15～25 kV(ECU)	2 kV(HBM)
		湿度	95%	40～80%
	Field	不良率	～1 ppm※	～200 ppm
		寿命	20 年	10 年
Cost			Low	Low
Delivery		供給	10 年～	1.5～2 年
		ｻﾝﾌﾟﾙ	車両生産の3年前	～1年前

※ 不良発生時の対応力

（例） 初報:1日、暫定対策:3日、恒久対策:2W

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

搭載場所による温度環境例

場所		最高温度(Ta)例
シャーシ	一般	85℃
	発熱部付近	121℃
	オイル	175℃
エンジンルーム	ダッシュパネル	140℃
	エンジン表面	150℃
	排気管付近	205℃
車室内	床面	85℃
	計器盤(上面)	113℃
	計器盤(一般)	85℃
トランクルーム	一般	85℃

出展:新ｶｰｴﾚｸﾄﾛﾆｸｽ 水谷修 山海堂(1992)

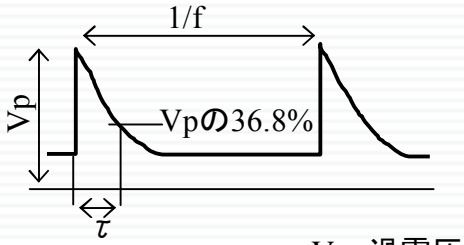
Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

自動車用半導体の特殊な試験・条件例

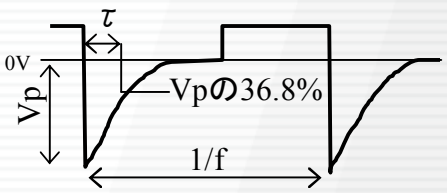
■ノイズ試験

① ロードダンプ時に発生する過渡電圧
② イグニッションSWを切ったときに発生する過渡電圧
③ 各種誘導負荷（リレー、ソレノイド等）を切ったときに発生する過渡電圧

①ロードダンプ時に発生する過渡電圧

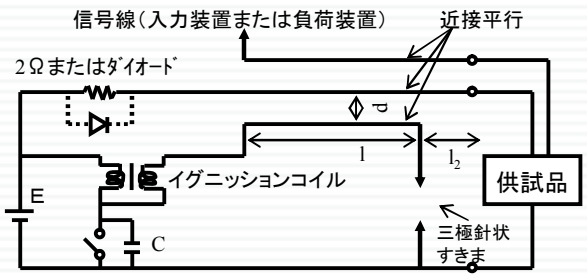


②③誘導負荷による過渡電圧



	一般例
Vp: 過電圧の最大値	:70V
τ : 減衰時定数	:200ms
f : 繰り返し周波数	:1/30Hz

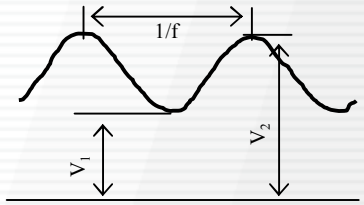
【誘導ノイズ試験方法】



[条件例]
E：電源電圧
10～15V
f：繰り返し周波数
30Hz
$1/2L_i^2$：1次ｴﾈﾙｷﾞｰ
60～80mJ
l：約1m
l_2：約2m
d：約50mm
三極針状すきま：約6mm

■その他：電源電圧（12Vバッテリ）

※始動時の電圧変動例



V_1：最小電圧（通常6V）
V_2：最大電圧（通常8V）
f ：繰り返し周波数（1～5Hz）

※ﾚｷﾞｭﾚｰﾀ故障時の高電圧
※ﾊﾞｯﾃﾘ逆接続時の負電圧

出展：新ｶｰｴﾚｸﾄﾛﾆｸｽ 水谷修 山海堂（1992）

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

目次

✓会社概要

✓車載半導体のモチベーション

✓車載半導体への要求

✓弊社の車載半導体前工程への取組み

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

弊社の車載半導体前工程への取組み

（1）周辺IC

① SOI-BCDプロセス
② CrSi抵抗
③ ESD高耐性デバイス
④ 配線技術

（2）パワーデバイス

⑤ ゲート酸化膜
⑥ SJ-MOS
⑦ SiC

（3）センサデバイス

⑧ 加速度センサプロセス

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

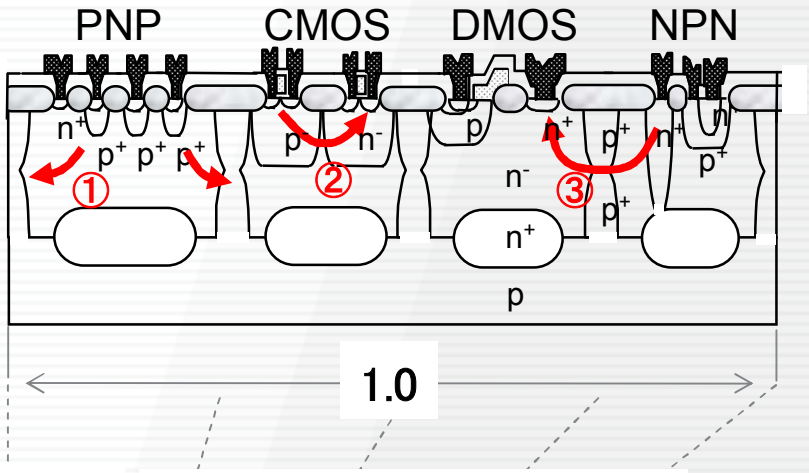
① SOI-BCDプロセス

■ SOIウエハを使ったBCD

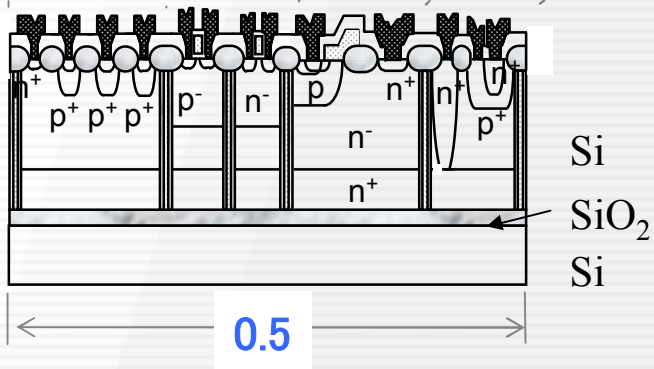
➤Toughness against Condition

	SOI（TD*）	JI*
High Temp. Op.	**Possible** No leakage pass	Difficult ① Leakage pass & Parasitic effect
Latch-up	**Excellent** No Parasitic effect	Not Avoid② Parasitic Bip. action
Negative Input	**Strong** No parasitic effect	Week ③ Parasitic Bip. action
Integration of Multi-Voltage	**Easy** Dielectric isolation	Not easy Large distance and/or multi-well
Isolation Area	**Small** ＜0.5	Large 1

【JI】（*Junction Isolation）



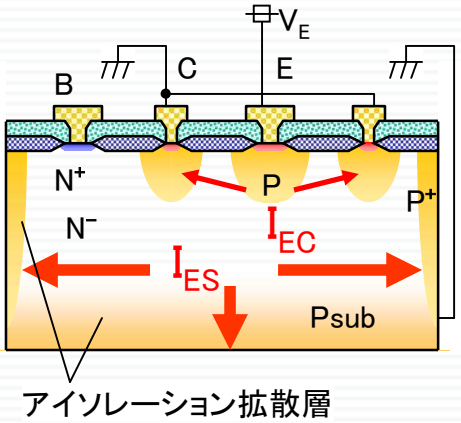
【TD】（*Trench Dielectric isolation）

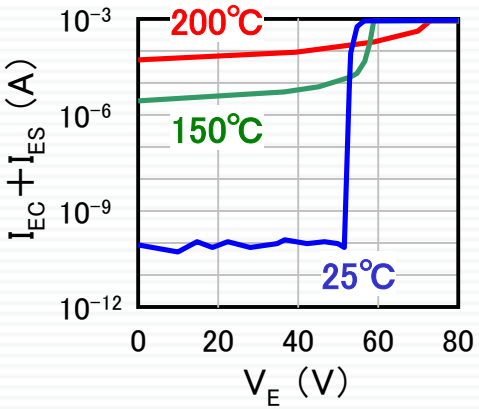


Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

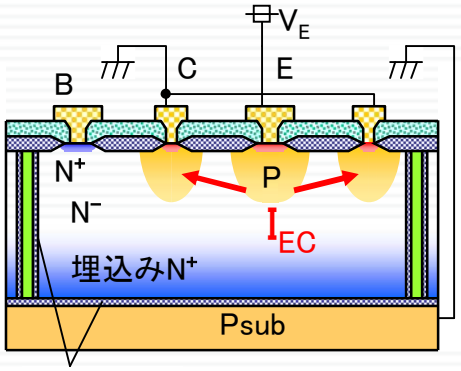
高温リーク

【JI】 （PNP素子）

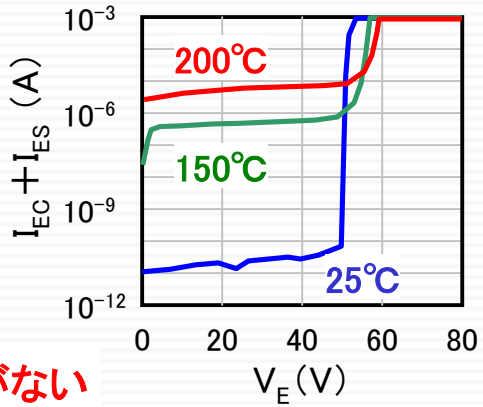


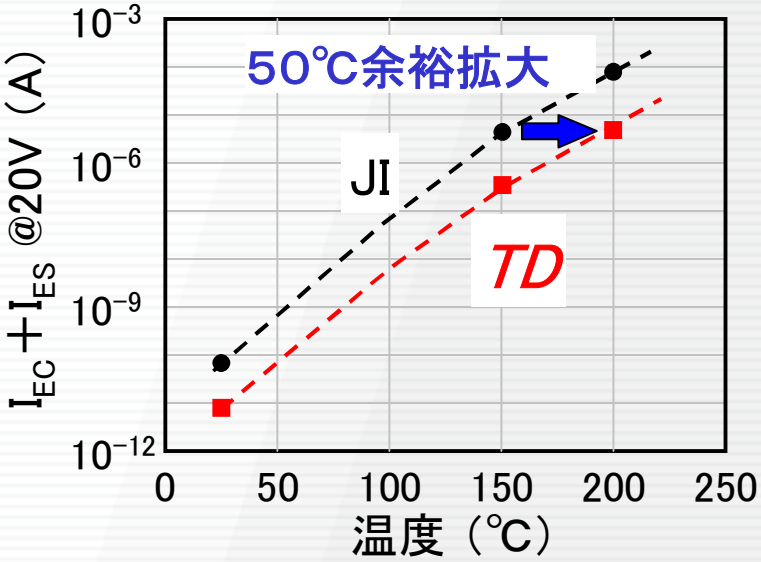


【TD】 （PNP素子）



⇒Psubへのリーク経路がない





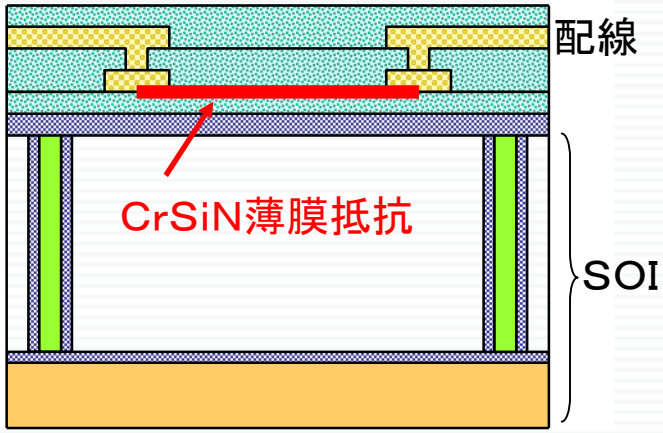
温度に対するリーク電流値

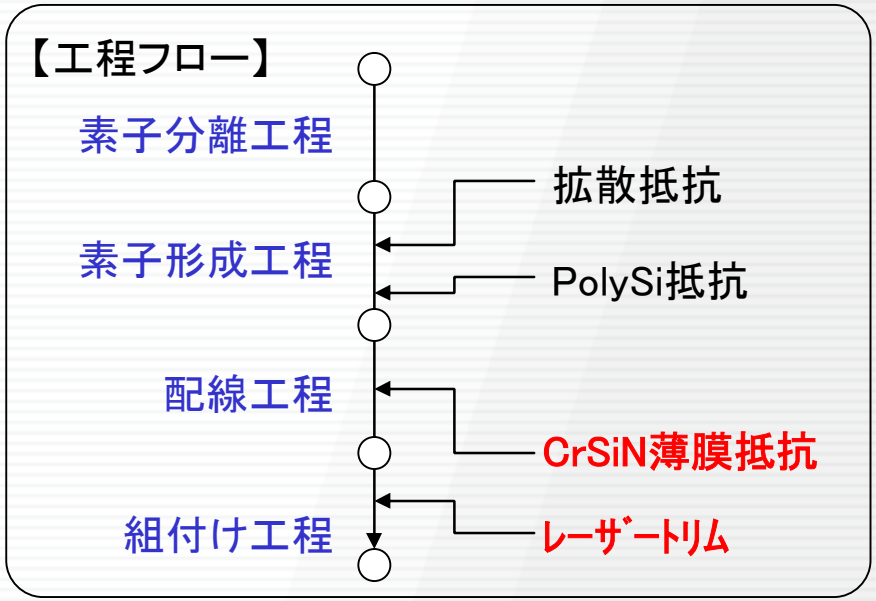
SOI＋トレンチ絶縁分離により
200℃まで使用範囲を拡大

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

② CrSiN抵抗

【CrSiN薄膜抵抗の断面構造】





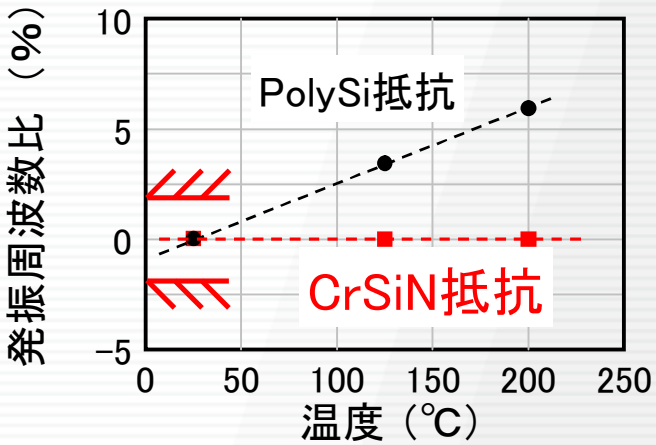
■特徴

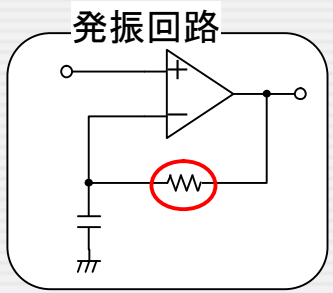
抵抗温度特性～±2ppm/℃

Ref.　Poly Si抵抗 ～300ppm/℃

レーザートリム可能

・プロセス加工精度 ： 2%
・トリミング後の精度： 0.1%

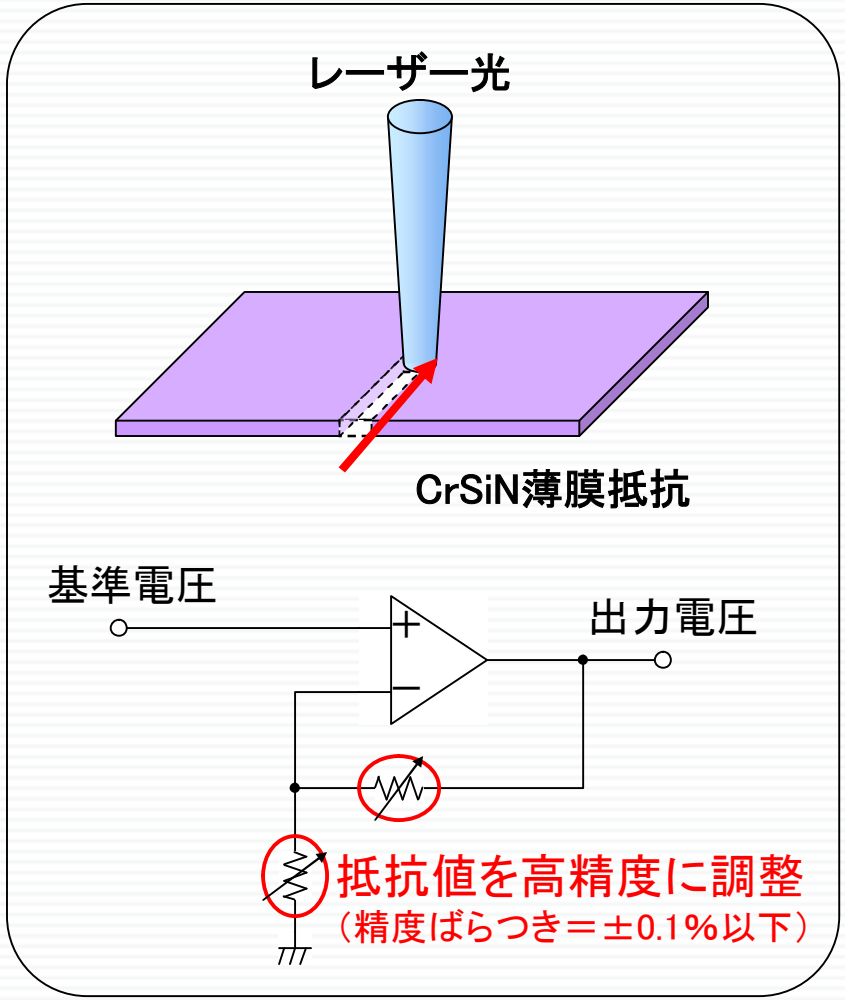




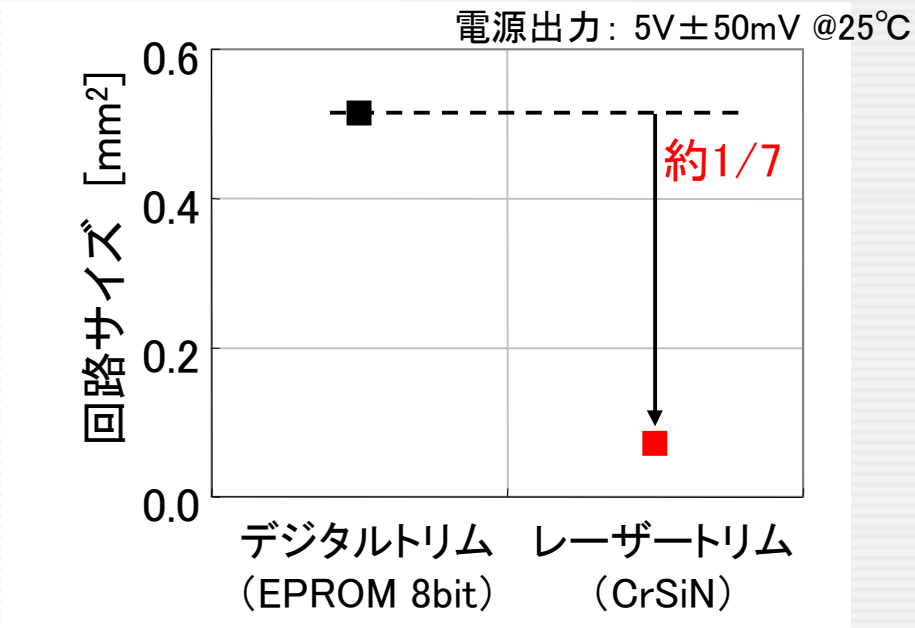
【温度に対する発振周波数変化】

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

CrSiN抵抗のレーザートリム



【回路面積の比較】



アナログ回路を小型・高精度化

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

③ ESD 高耐性デバイス

■ Requirement

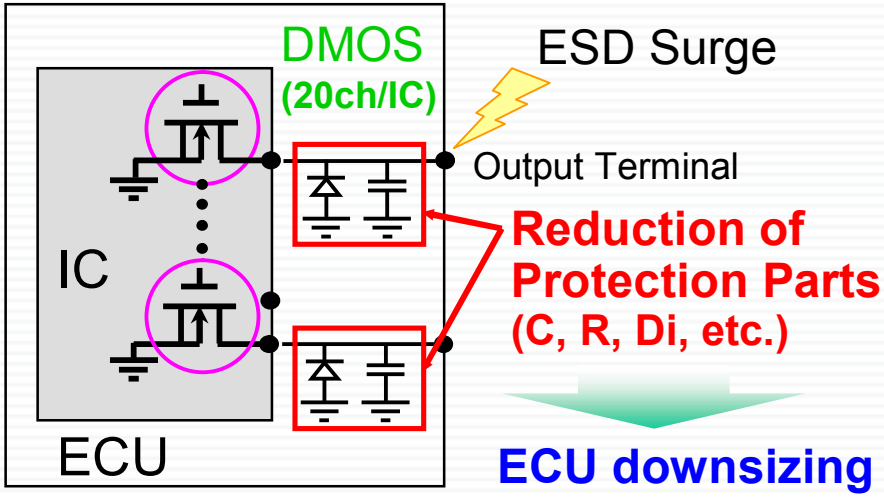
Conventional Specification

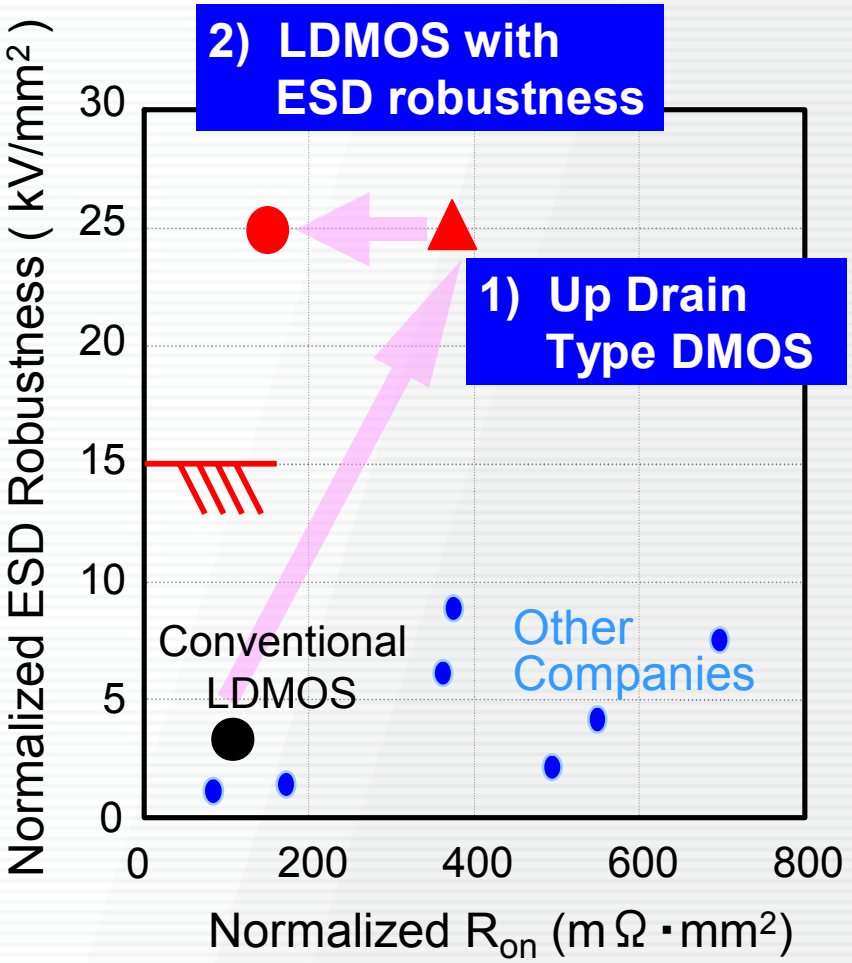
HBM ;	> 2kV @100pF, 1. 5kΩ

Automotive Specification

ECU model ;	> 15kV @150pF, 2kΩ

■ Effect of Novel DMOS





Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

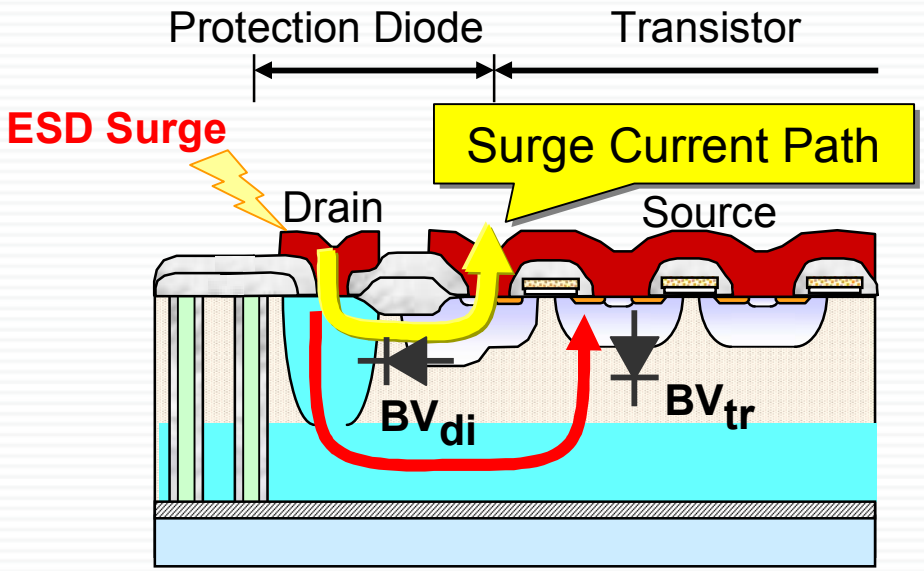
1）Up Drain Type DMOS

■ Concept

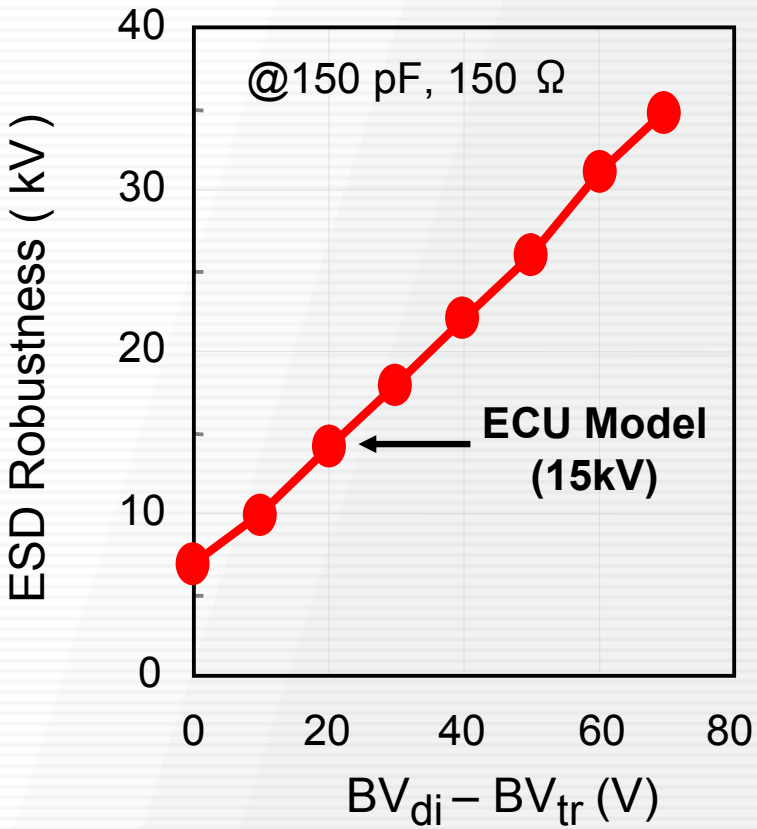
Absorbing ESD Surge Current by Exclusive Diode Set to Lower Breakdown Voltage

Transistor		Protection Diode
BV_{tr}	>	BV_{di}

■ デバイス構造



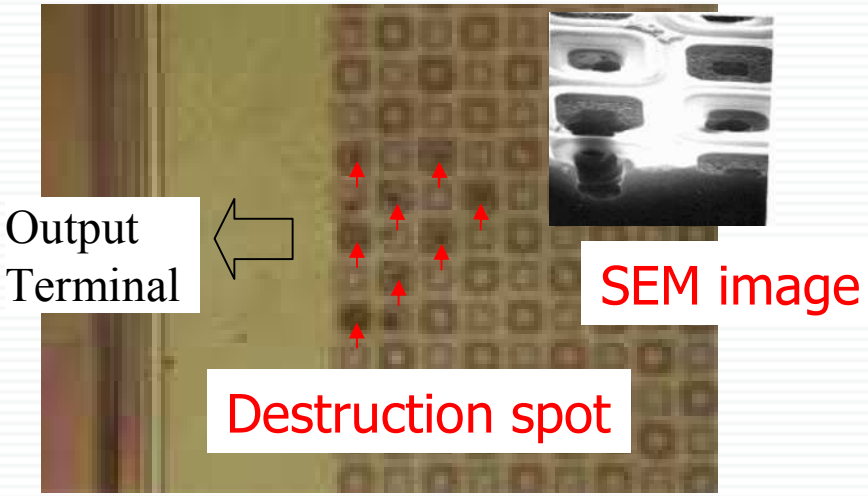
【T-CAD Simulation】



Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

< ESD Destruction Mechanism of LDMOS >

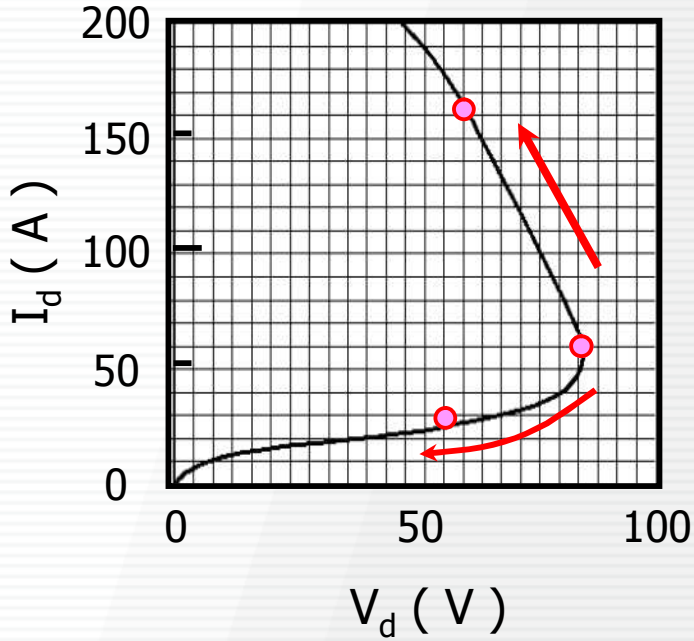
■ Destruction mode



- Tiny melted spot on the surface near to an output electrode

Localized high current crowding

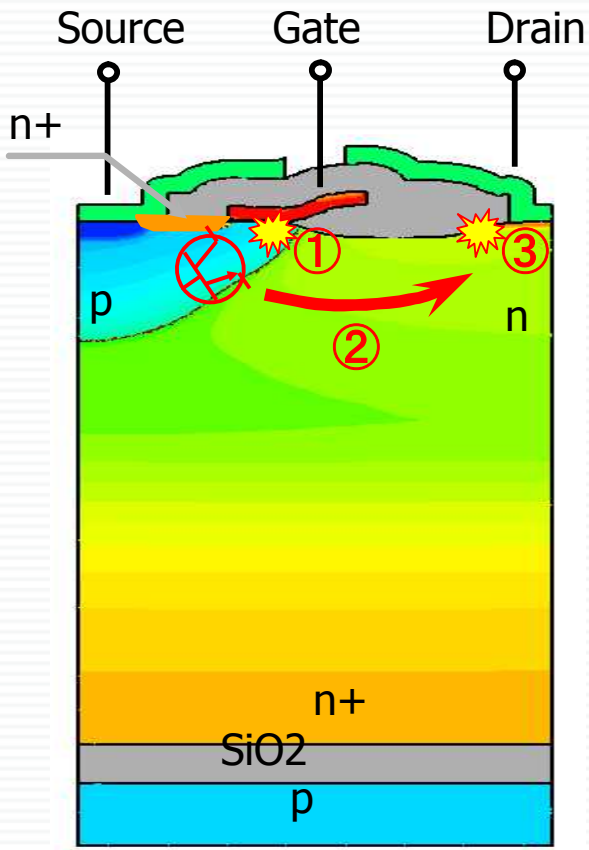
■ Mechanism



Problem : Negative Sustain Characteristics!

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

Generation Mechanism of Negative Sustain Characteristics



2D model of LDMOS

Avalanche break down near the source ···· ①

↓

Parasitic Bip. Tr. operation **Focus!**

↓

Electron injection ····· ②

↓

Increase of electric field near the drain **Focus!**

↓

Avalanche break down at the edge of drain ··· ③

↓

High current crowding to heat destruction

Positive feedback

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

Structure of new LDMOS with ESD robustness

New LDMOS with ESD robustness

■ **Source region (Adaptive P)**

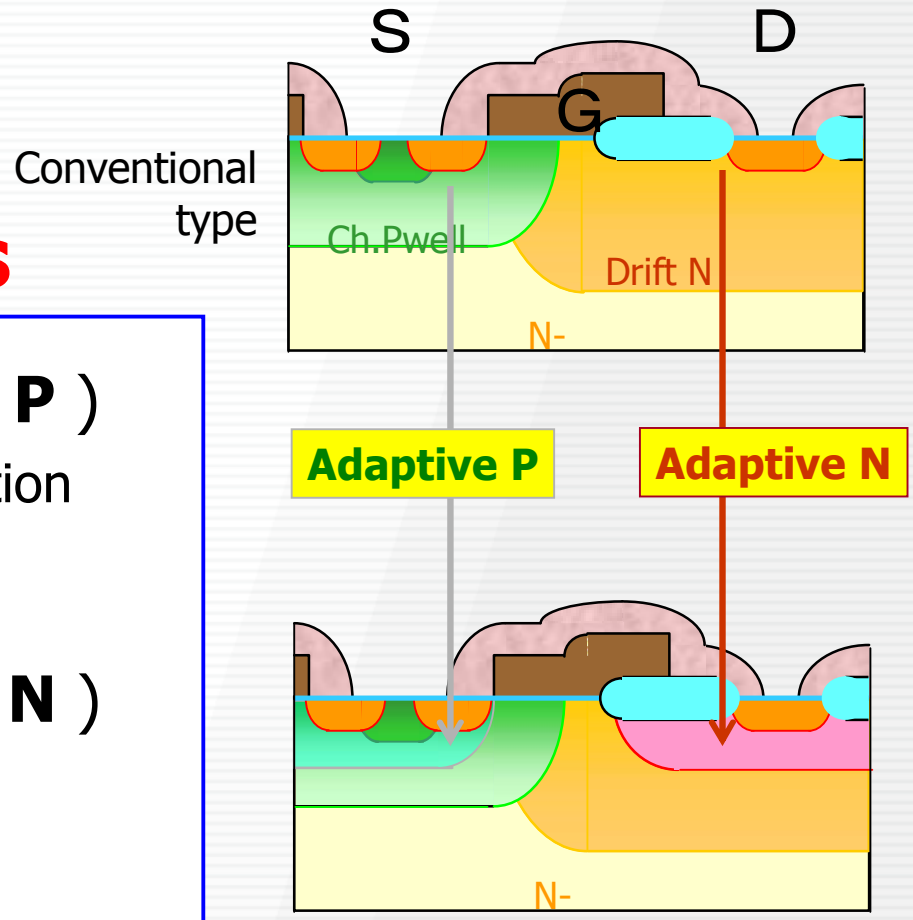
Suppression of parasitic Bip operation

: High concentration P-type layer

■ **Drain region (Adaptive N)**

Relieving of electric field strength

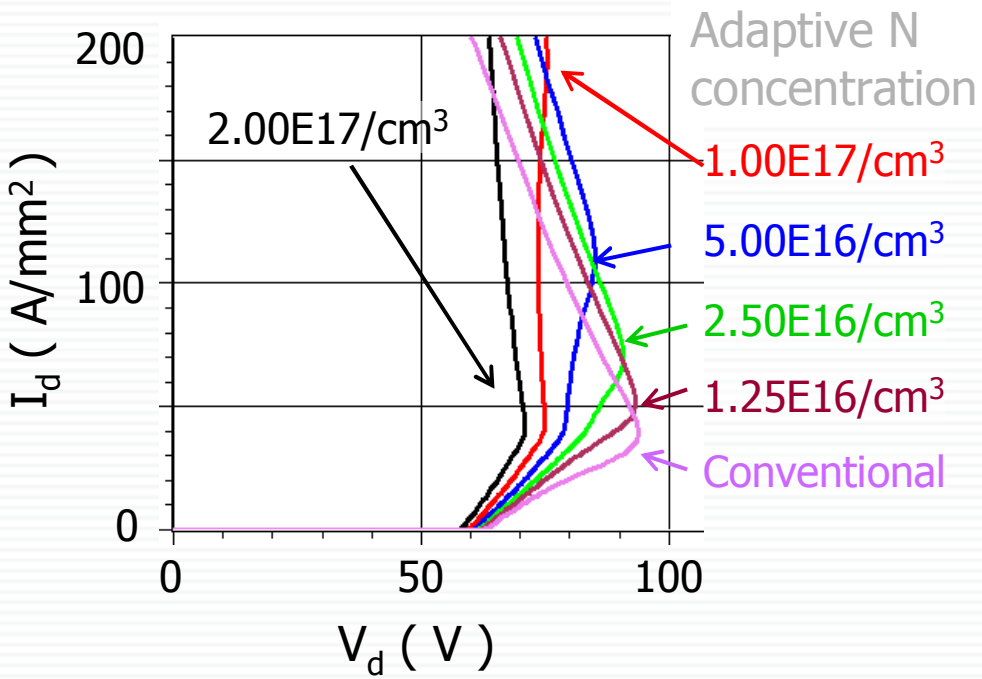
: High concentration N-type layer



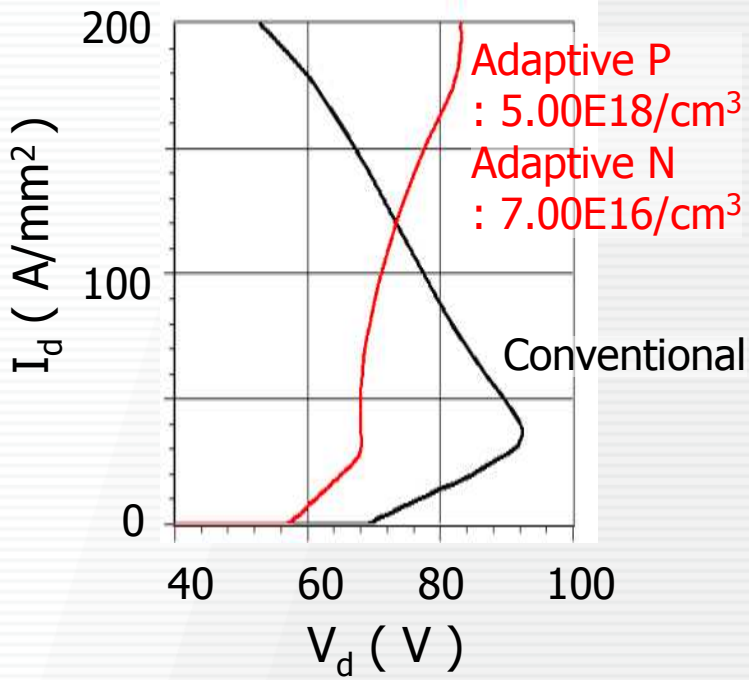
Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

Simulation results

■ Effect of Adaptive N



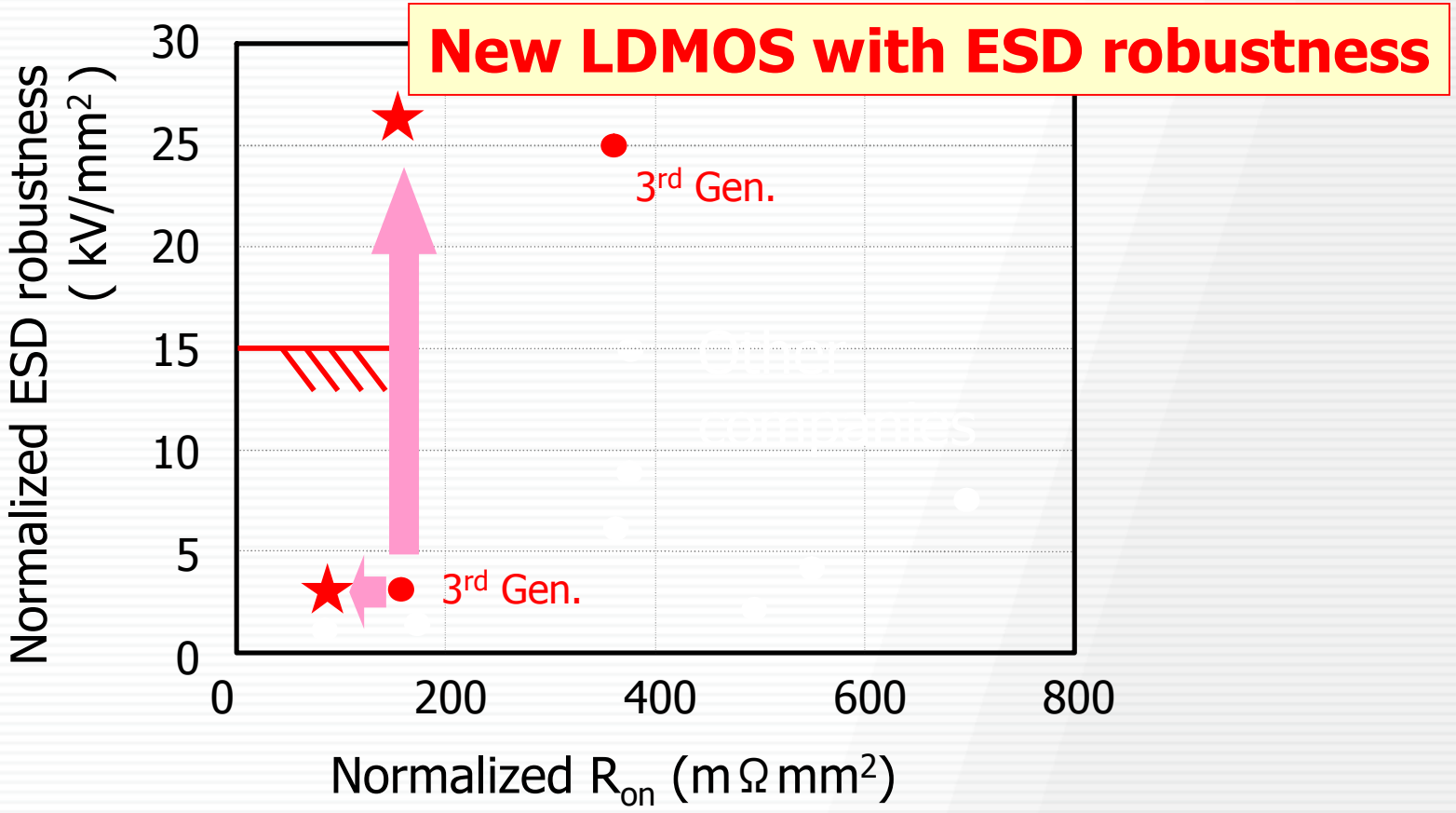
■ Effect of Adaptive P



Improved Sustain Characteristics

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

Line up of 4th Generation's Power Devices

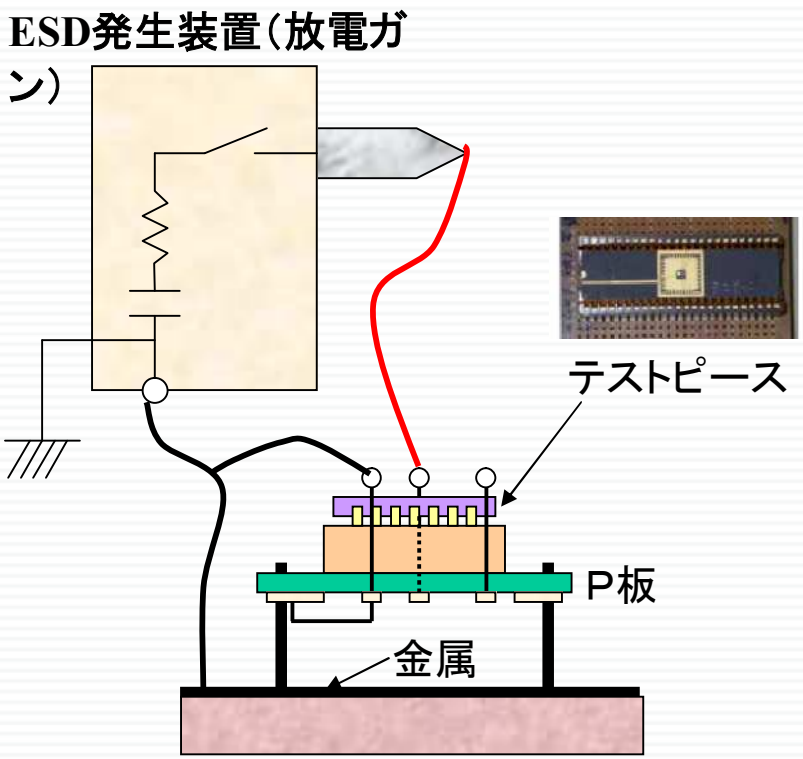


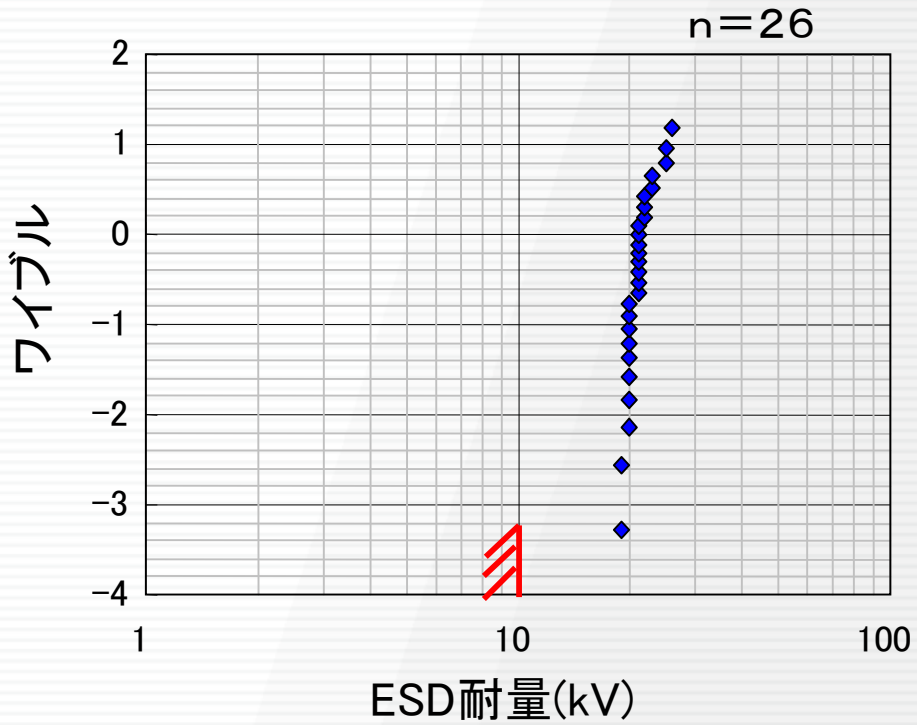
Higher ESD robustness keeping low R_{on}

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

LDMOS ESD耐量ばらつき

■ ESD耐量評価例





コスト高、n数稼げない

約15分/個

代替特性で設計保証

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

ESDの代替特性での設計保証

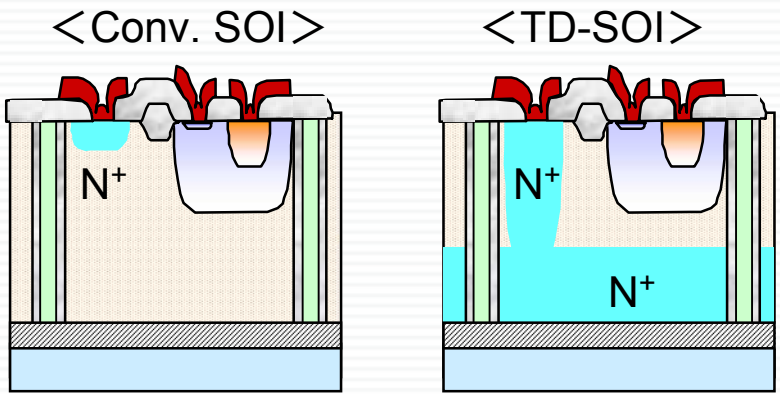
DENSO

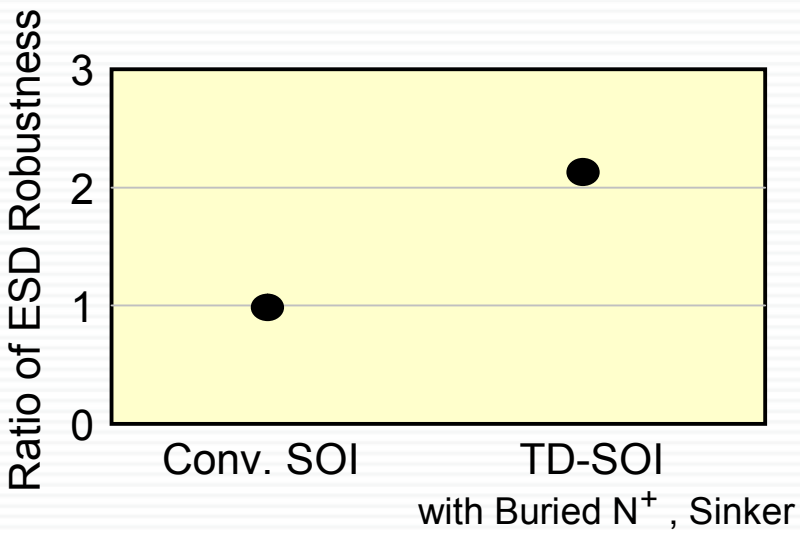
※このスライドは未配布

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

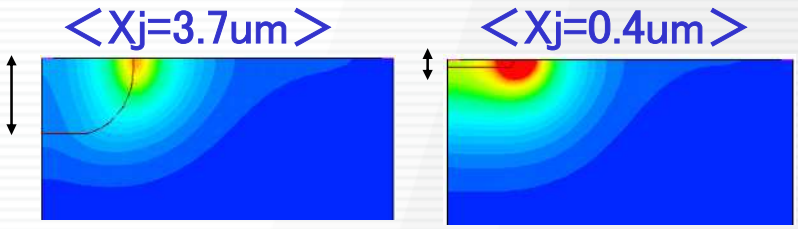
3）Other Device

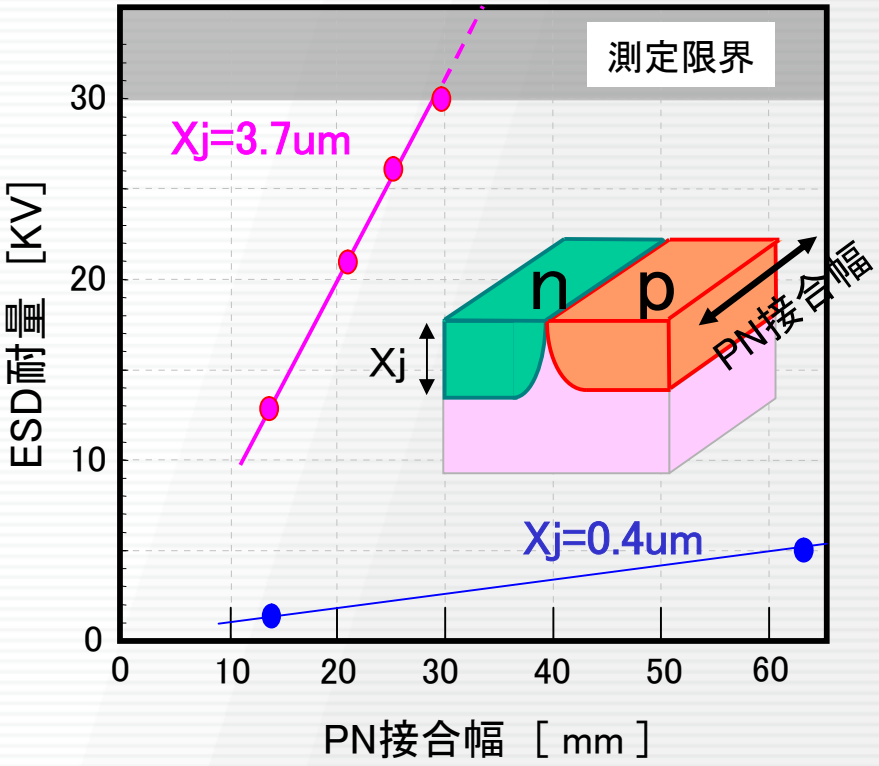
■ Bipolor Transistor





■ Diode



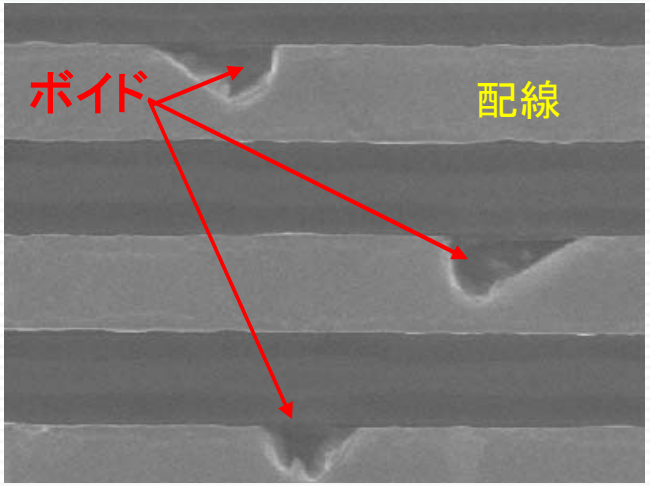


Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

④ 配線技術

■ 配線部信頼性

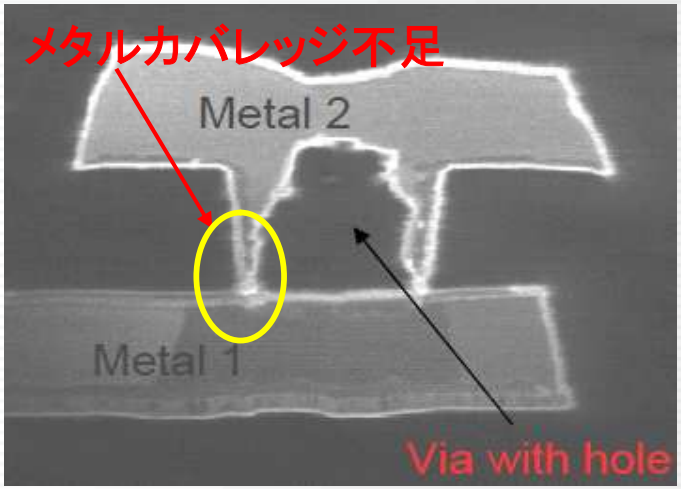
高温、通電によるボイド成長→断線
（EM、SM）



＜表面SEM＞

■ ビア部信頼性

ビア部のメタルカバレッジ不足
→高温、通電によるボイド成長→断線



＜断面SEM＞

<u>モチベーション</u>

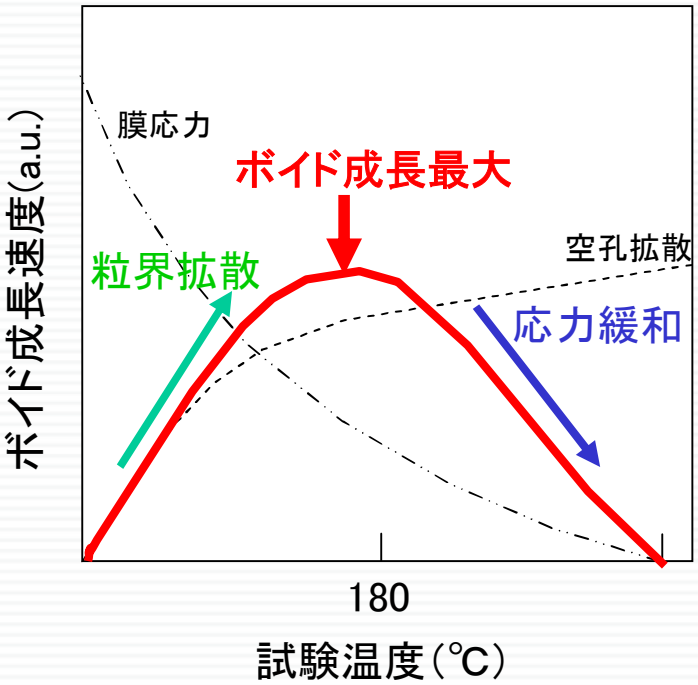
・Ta/Tjmaxの上昇
・配線/ビアの微細化

→ **配線工程の最適設計**

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

配線部信頼性（1）

■ ボイド成長と放置温度の関係

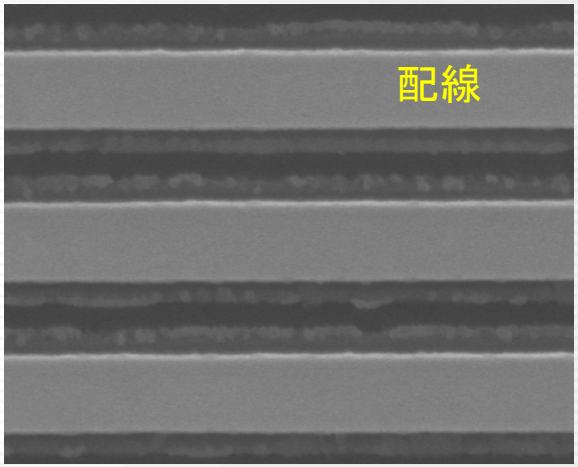


最近の要求Tjmax（175℃）
近辺がワースト温度

■ 最適設計項目

- バリアメタル組成/成膜条件
- 配線材料組成/成膜条件
- 層間絶縁膜組成/成膜条件

■ 最適設計後

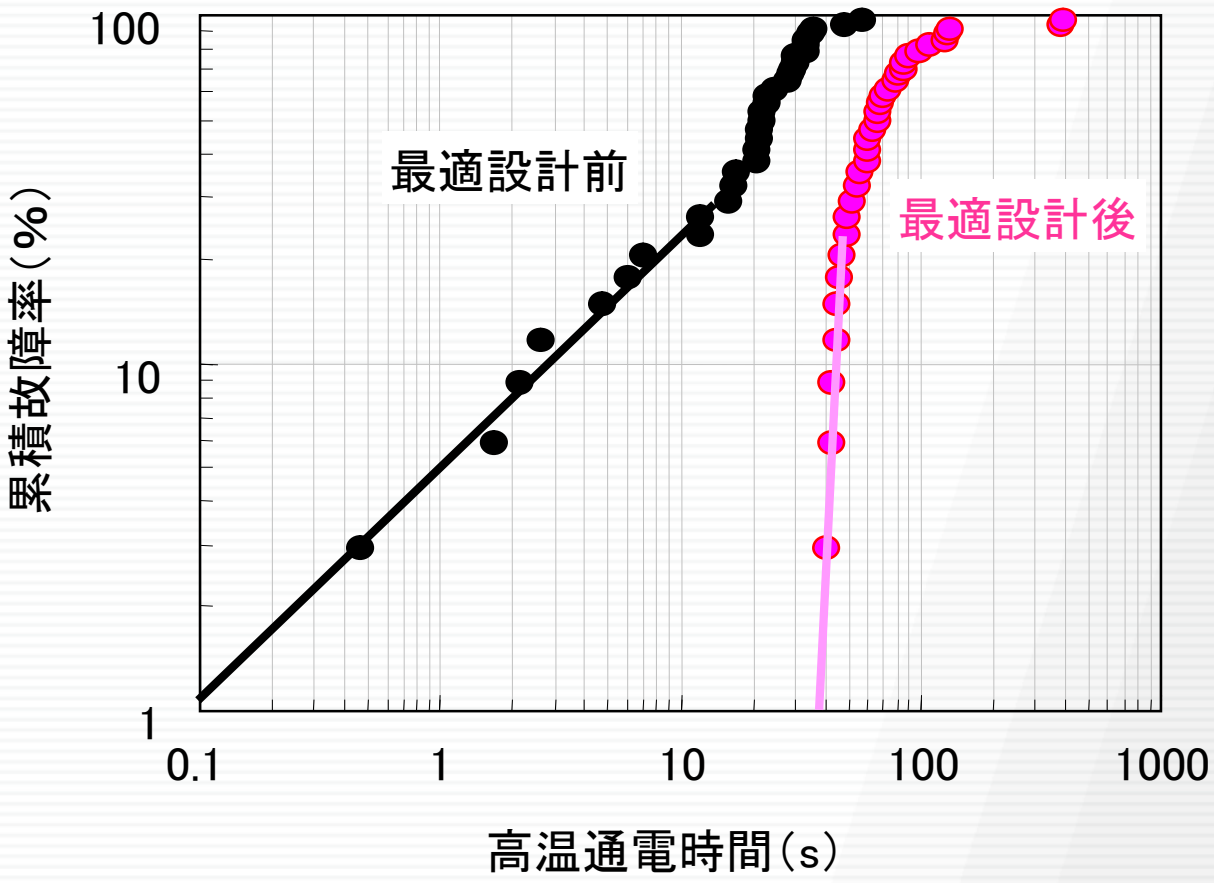


＜高温放置（180℃，1000hr）後の表面SEM＞

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

配線部信頼性（2）

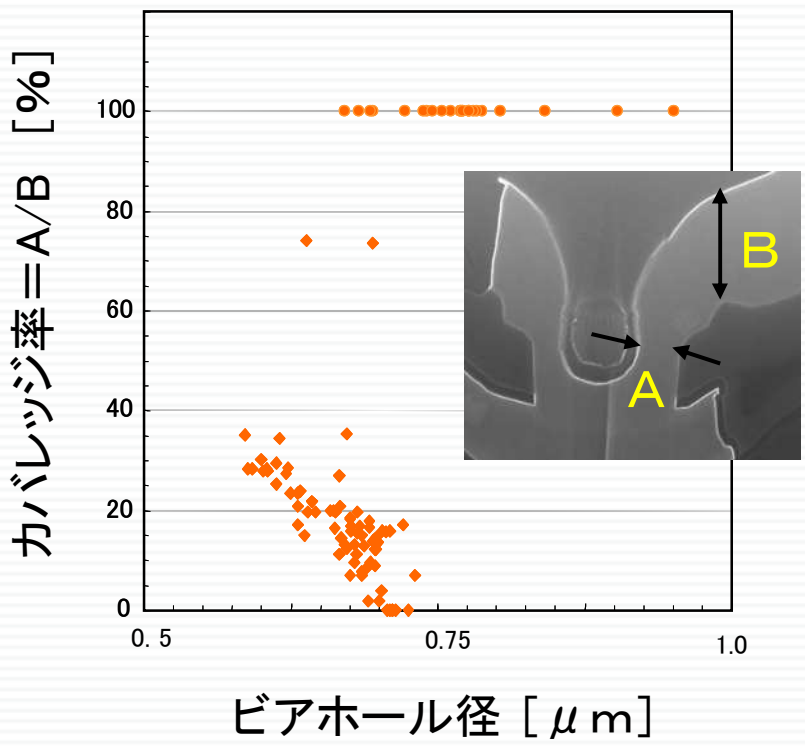
■ 高温放置（180℃、1000hr）後のEM試験



Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

ビア部信頼性（1）

■ ビアホール径とカバレッジ率の関係



微細化によりカバレッジ低下

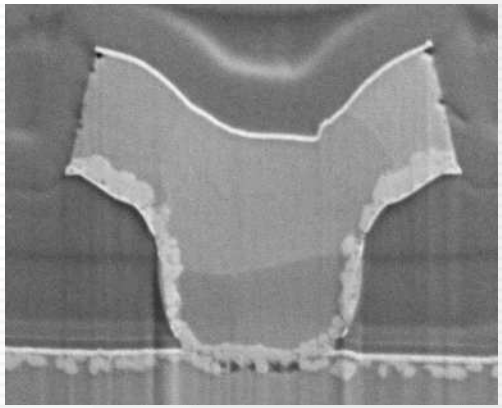
■ 最適設計項目

・バリアメタル組成/成膜条件

・配線材料組成/成膜条件

・ビア部絶縁膜形状

■ 最適設計後

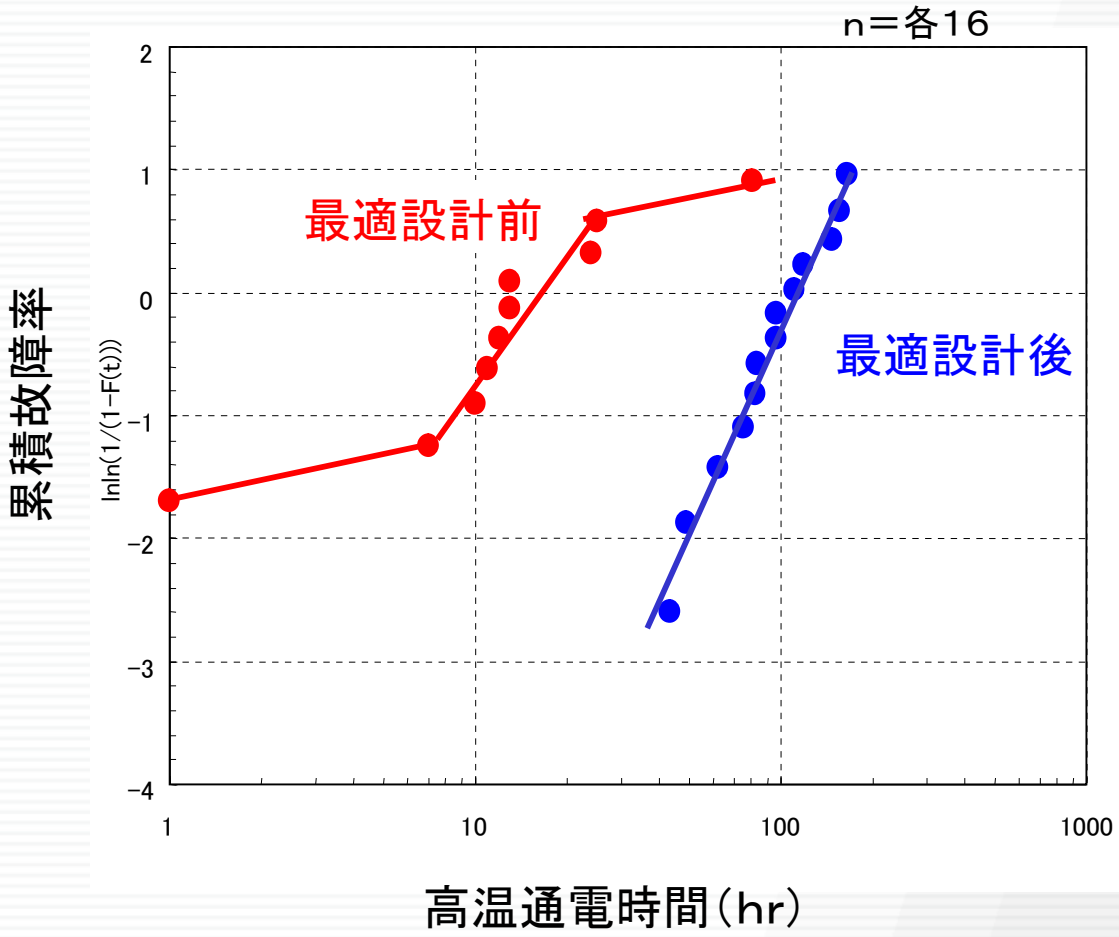


＜断面SEM＞

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

ビア部信頼性（2）

■ ビア（1000段連結パターン）EM試験



Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

ビア部信頼性（3）

DENSO

※このスライドは未配布

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

弊社の車載半導体前工程への取組み

（1）周辺IC
- ① SOI-BCDプロセス
- ② CrSi抵抗
- ③ ESD高耐性デバイス
- ④ 配線技術

（2）パワーデバイス
- ⑤ ゲート酸化膜
- ⑥ SJ-MOS
- ⑦ SiC

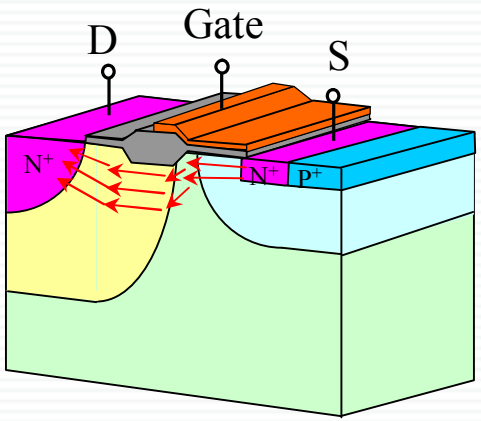
（3）センサデバイス
- ⑧ 加速度センサプロセス

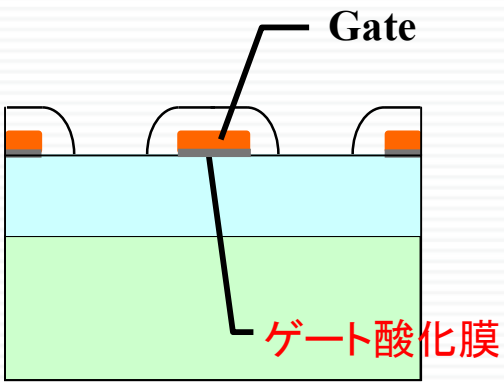
Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

⑤ ゲート酸化膜

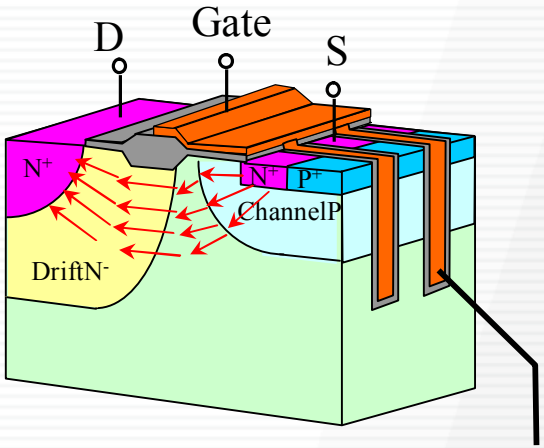
■ トレンチゲート酸化膜の事例

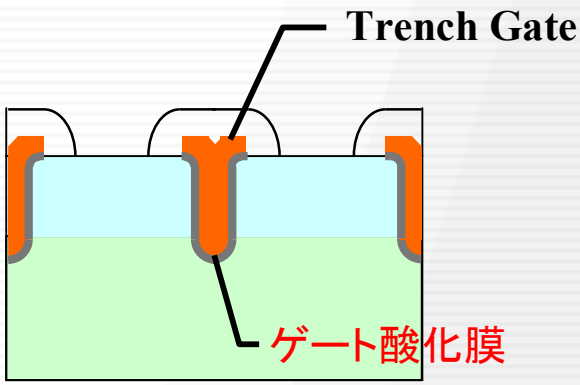
Conventional planer gate LDMOS





Trench gate LDMOS





モチベーション

- Ron低減
- Qgd低減
- ゲート電界緩和（高信頼性）

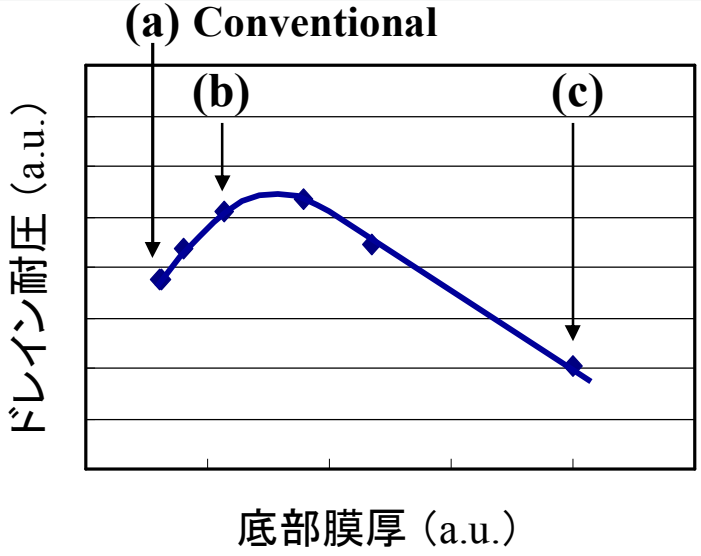
部分厚膜化
ゲート酸化膜

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

部分厚膜ゲート酸化膜厚の構造設計（底部膜厚）

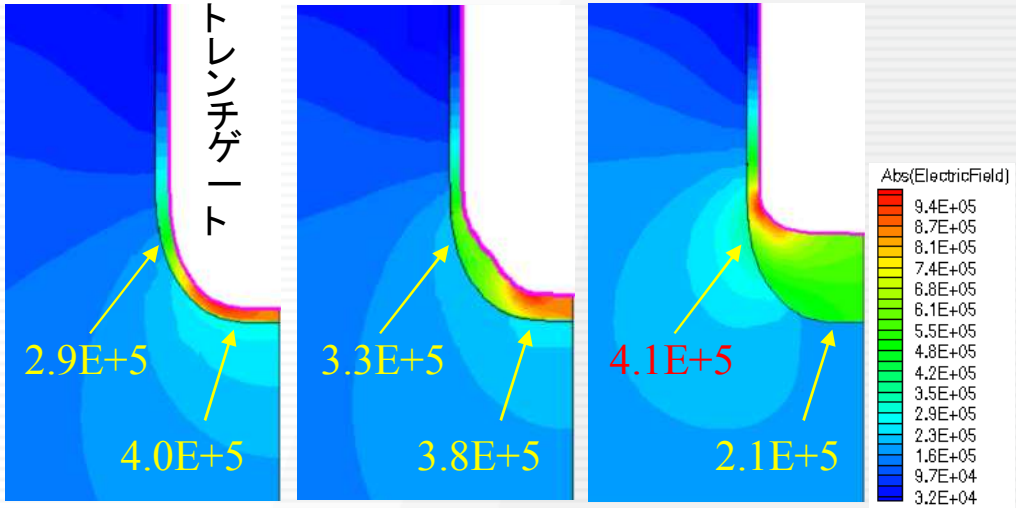
■ 底部膜厚の設計

＜底部膜厚とドレイン耐圧の関係＞



＜底部電界強度分布＞

［単位：V/cm］



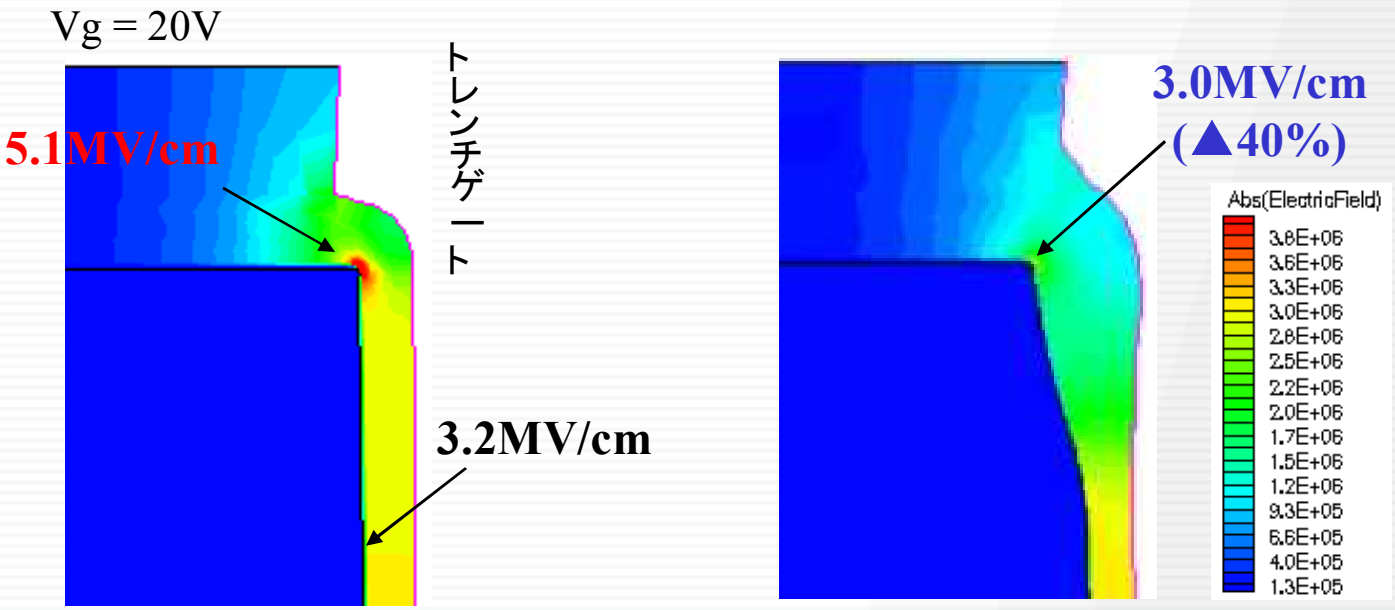
(a) 点　(b)点　(c) 点

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

部分厚膜ゲート酸化膜厚の構造設計（上部膜厚）

■ 上部膜厚の設計

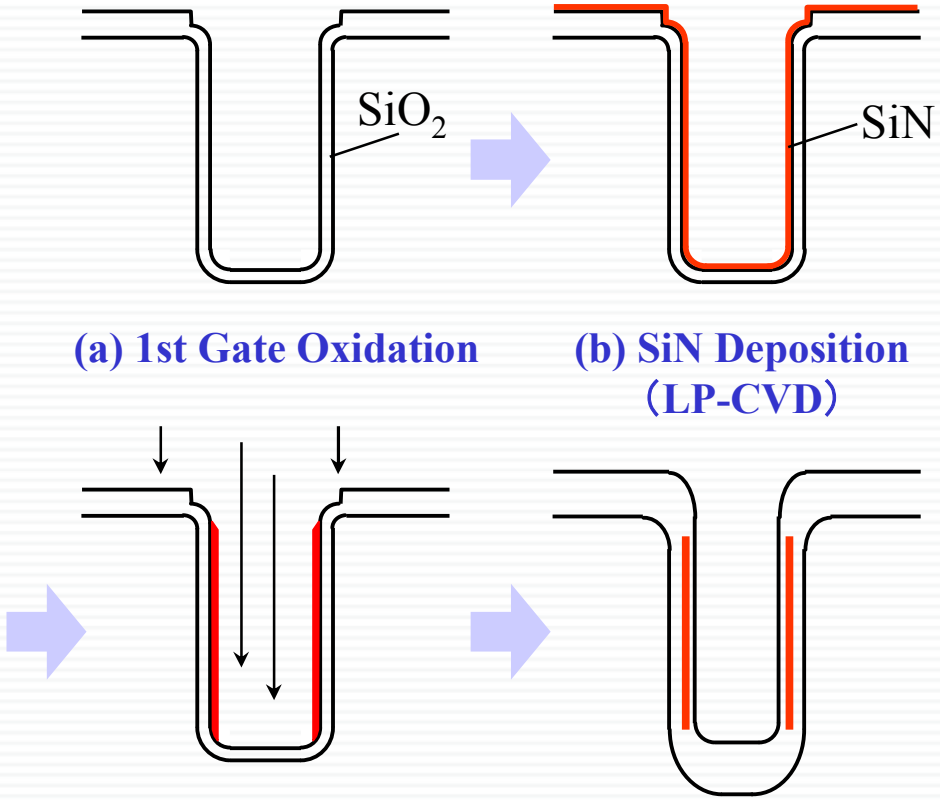
＜上部電界強度分布＞



(a) 上部厚膜化なし　　(c) 上部厚膜構造

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

部分厚膜ゲート酸化膜の製法設計

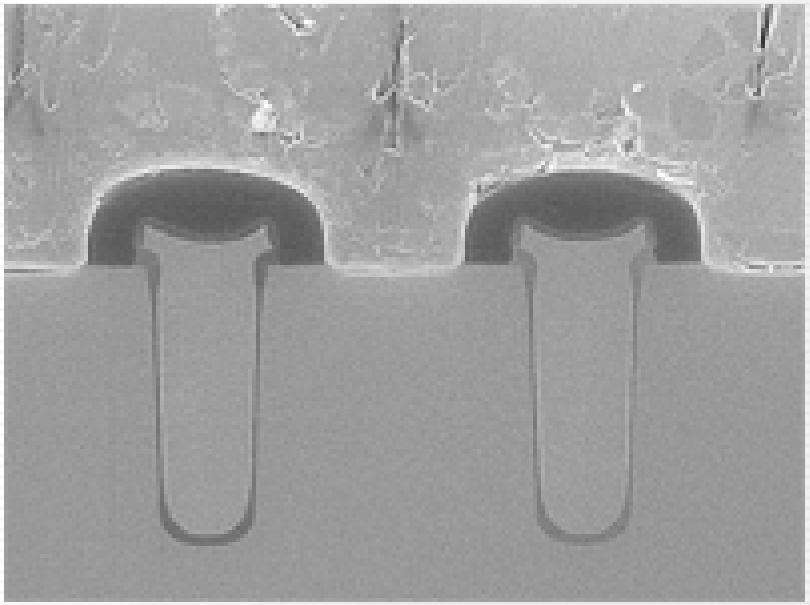


(a) 1st Gate Oxidation

(b) SiN Deposition
（LP-CVD）

(c) SiN Anisotropic
Dry Etching

(d) 2nd Gate Oxidation

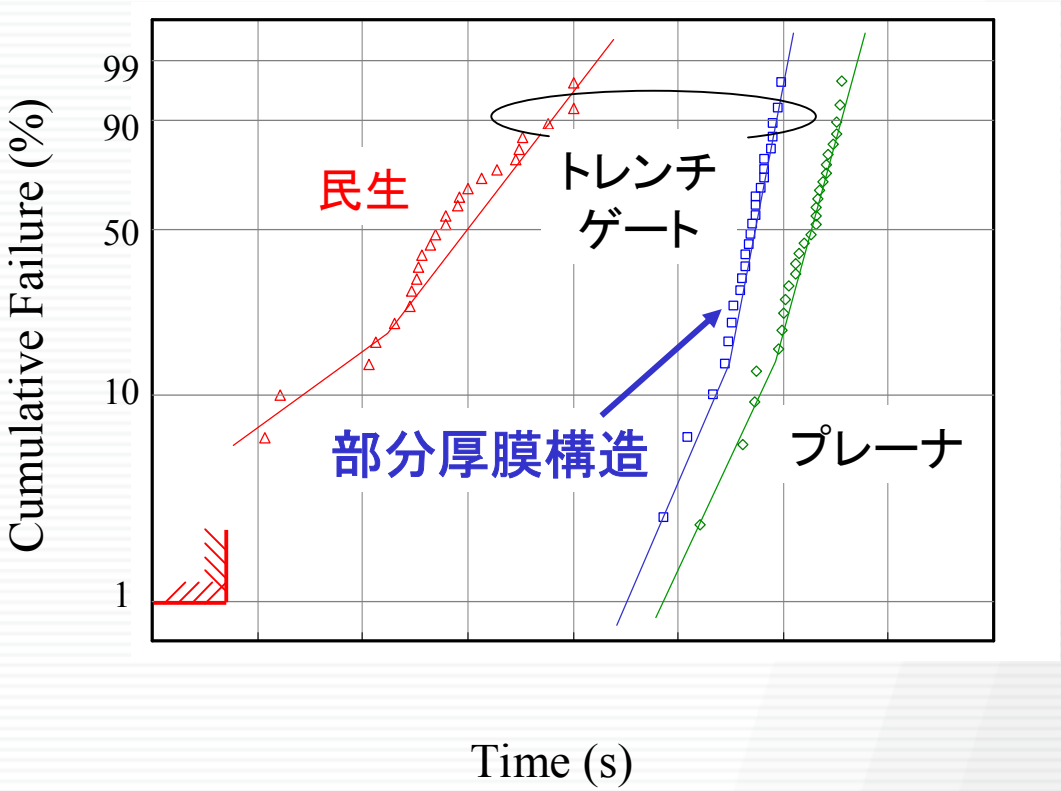


1μm

マスク追加を必要としない簡素な製法

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

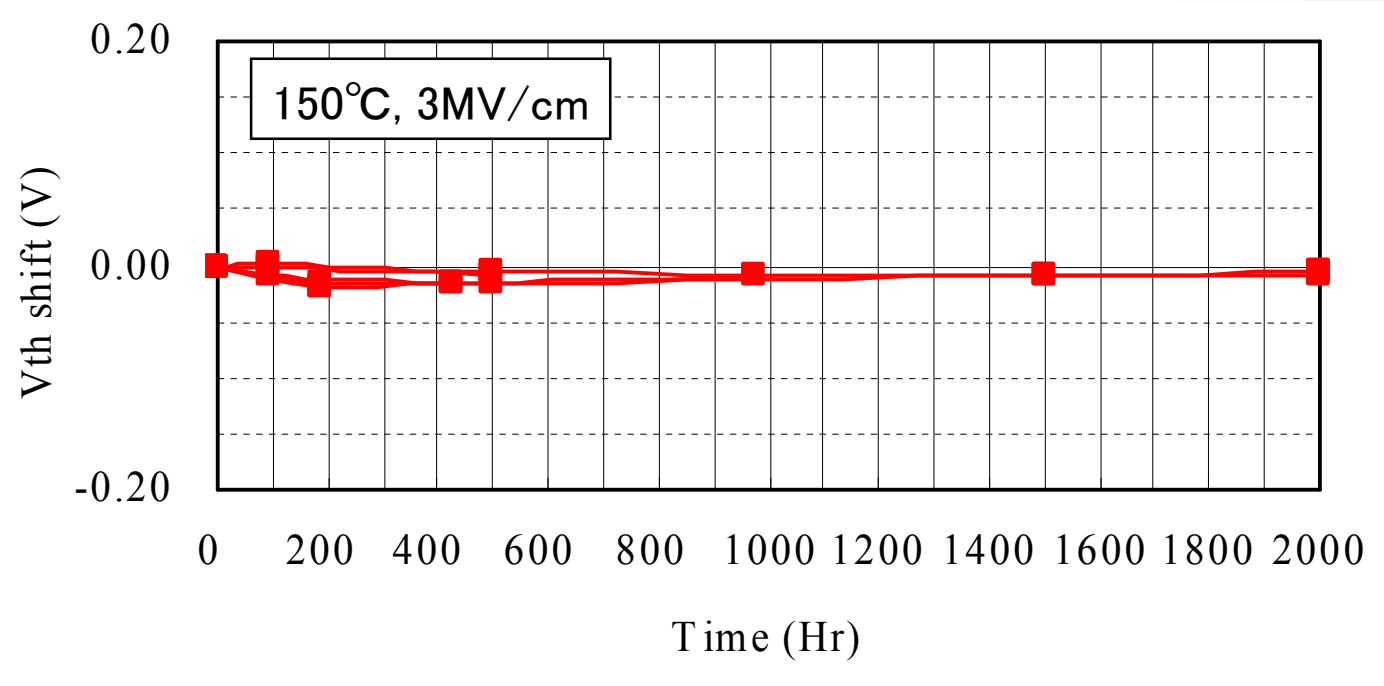
トレンチゲート酸化膜のTDDB特性



プレーナ並みのゲート酸化膜寿命を確保

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

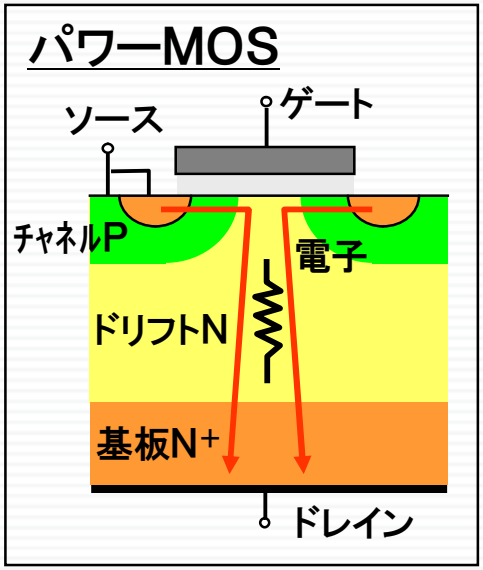
ONO構造でVt変動特性

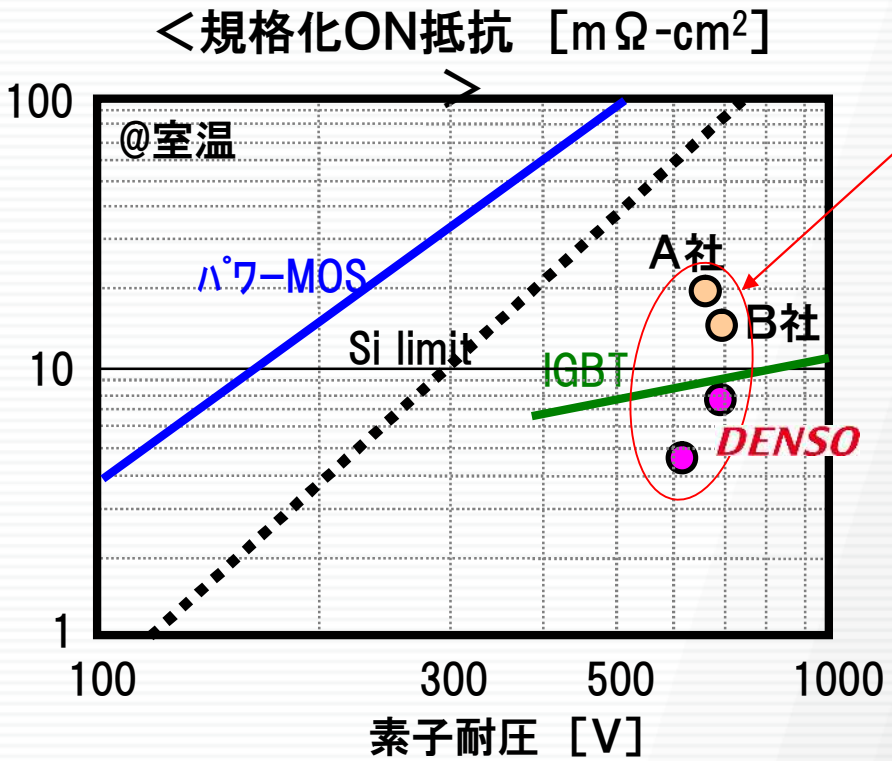


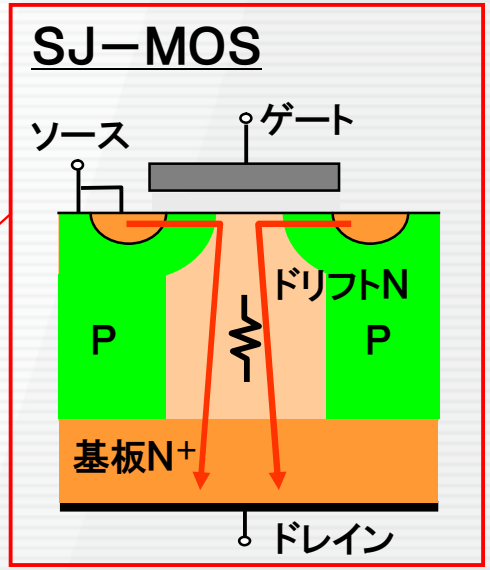
Vthシフトなく、特性は長期安定を確認

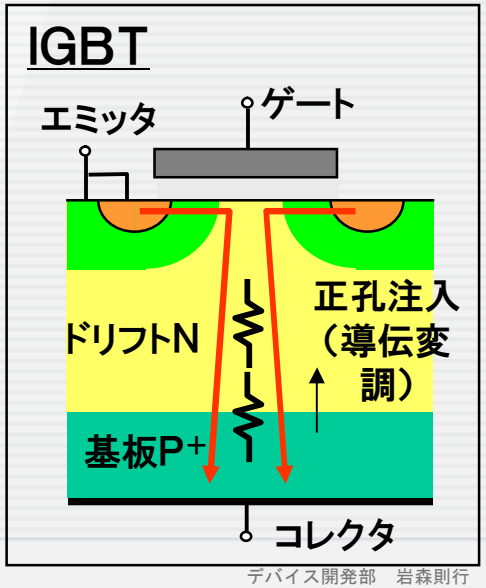
Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

⑥ SJ－MOS（Super Junction）









SJ－MOSの特長

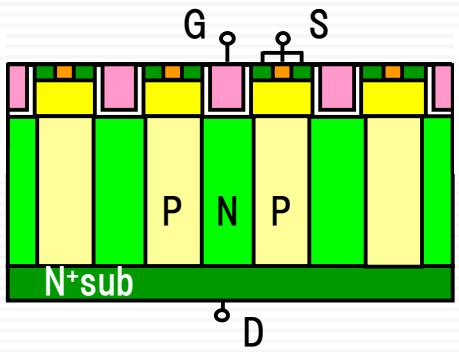
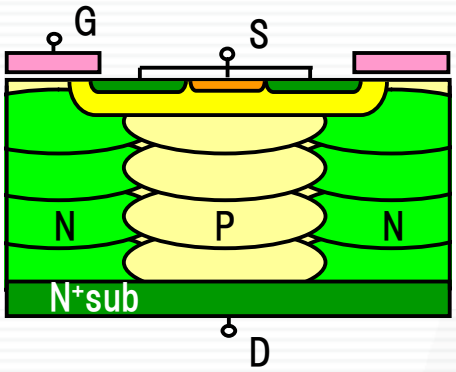
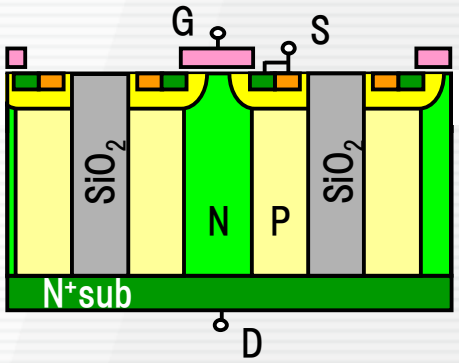
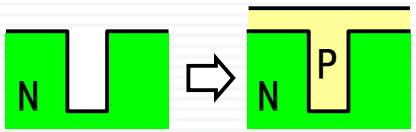
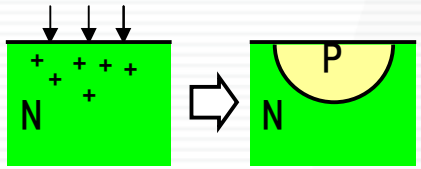
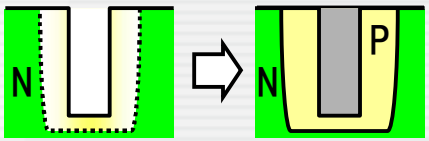
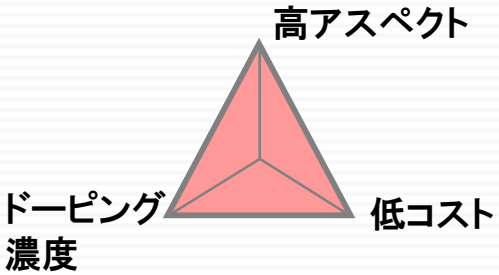
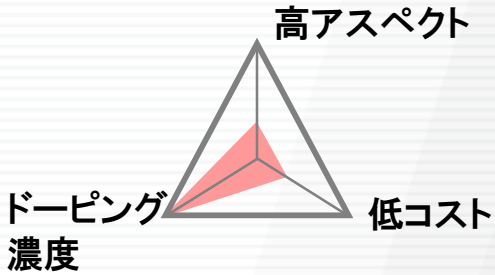
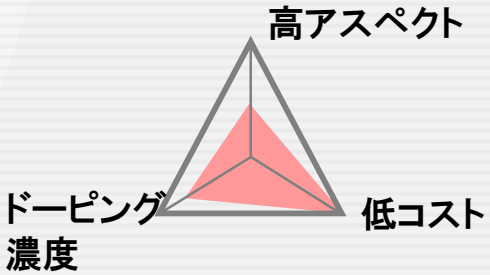
メリット：　n層の高濃度化により低オン抵抗（～600V耐圧）

デメリット：出力容量が大きく，逆回復特性がハード

DENSO

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

P/Nコラム構造の形成方法

	トレンチ埋込エピプロセス	マルチエピ成長プロセス	気相ドーピングプロセス
構造			
工法	トレンチエッチ　埋込エピ 	インプラ　拡散 	トレンチエッチ ＋気相ドーピング　SiO_2埋込 
性能			

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

HCIを用いたトレンチ埋め込み技術

DENSO

※このスライドは未配布

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

⑦ SiCへの取り組み

DENSO

※このスライドは未配布

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

SiCデバイスの特長

DENSO

※このスライドは未配布

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

微細欠陥を低減する結晶成長法（RAF法）

DENSO

※このスライドは未配布

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

弊社の車載半導体前工程への取組み

（1）周辺IC
- ① SOI-BCDプロセス
- ② CrSi抵抗
- ③ ESD高耐性デバイス
- ④ 配線技術

（2）パワーデバイス
- ⑤ ゲート酸化膜
- ⑥ SJ-MOS
- ⑦ SiC

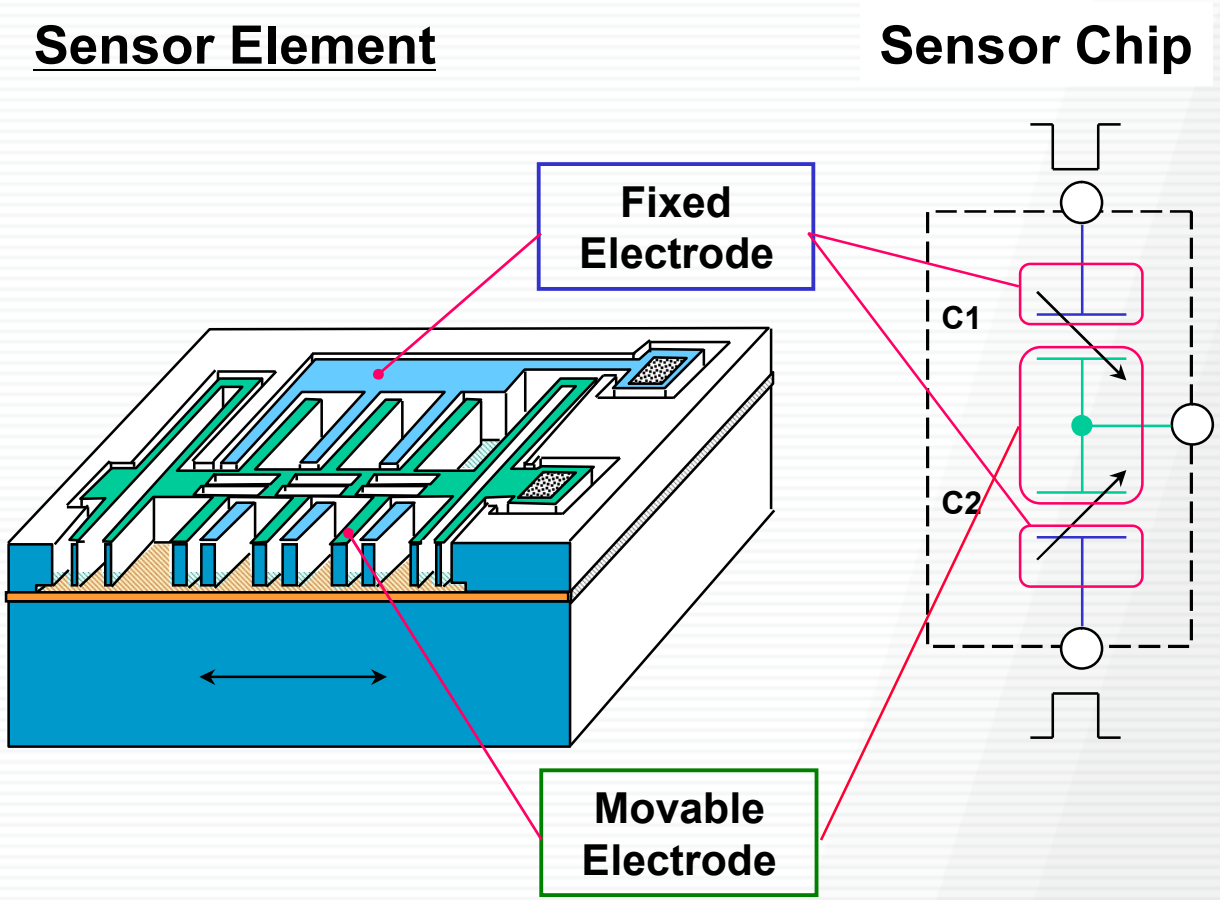
（3）センサデバイス
- ⑧ 加速度センサプロセス

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

センサ・バリエーション

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

⑧ 加速度センサ原理・構造



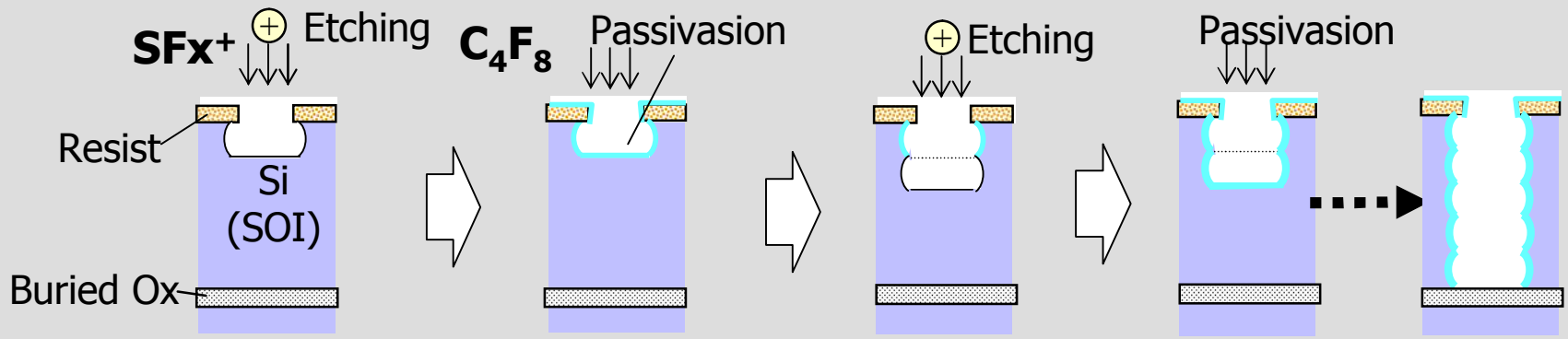
半導体（Si）の立体構造をセンシングに応用

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

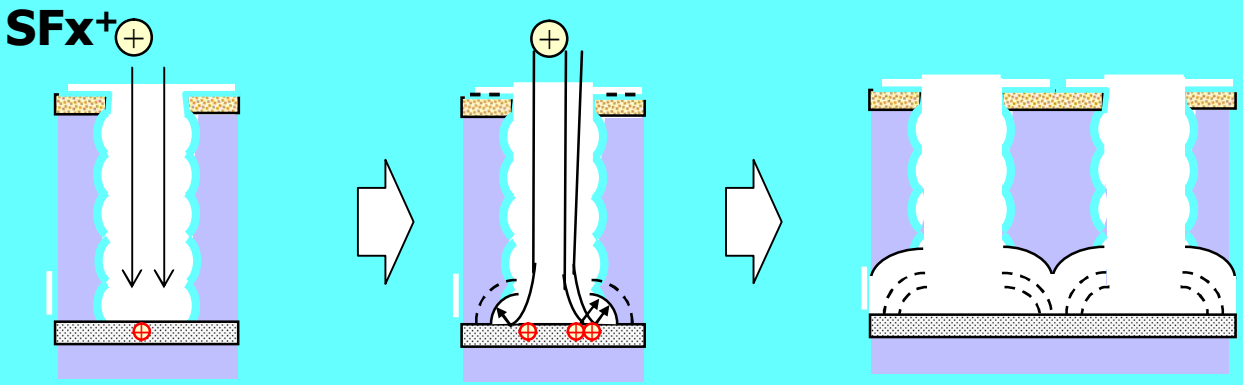
新規エッチングプロセス

ICP-RIE: Inductively Coupled Plasma – Reactive Ion Etching

Vertical Si Etching ICP-RIE



Lateral Si Etching ICP-RIE



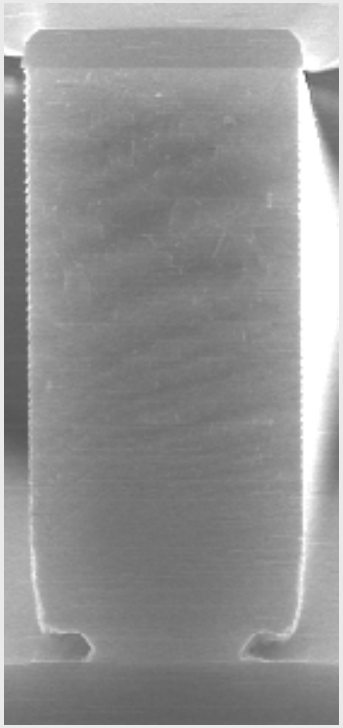
Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

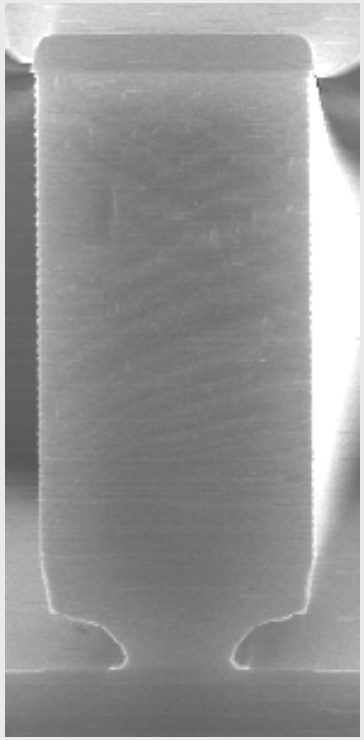
横方向エッチング形状

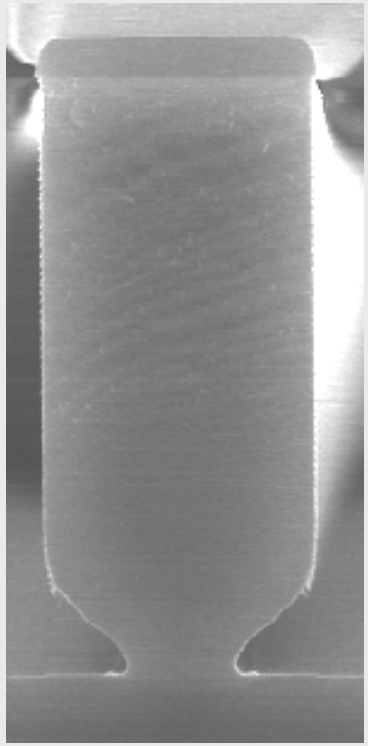
ICP-RIE Etching

Vertical Etching
with Antistatic

Lateral Etching

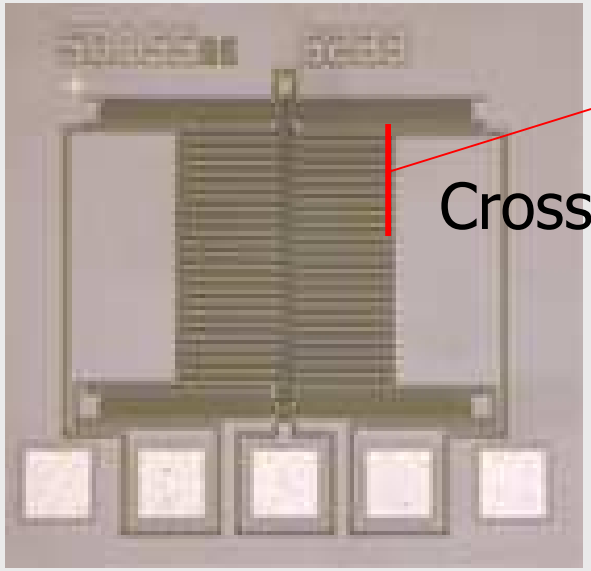




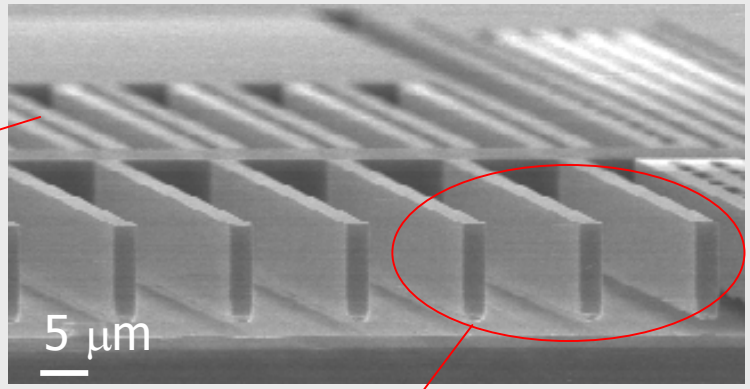


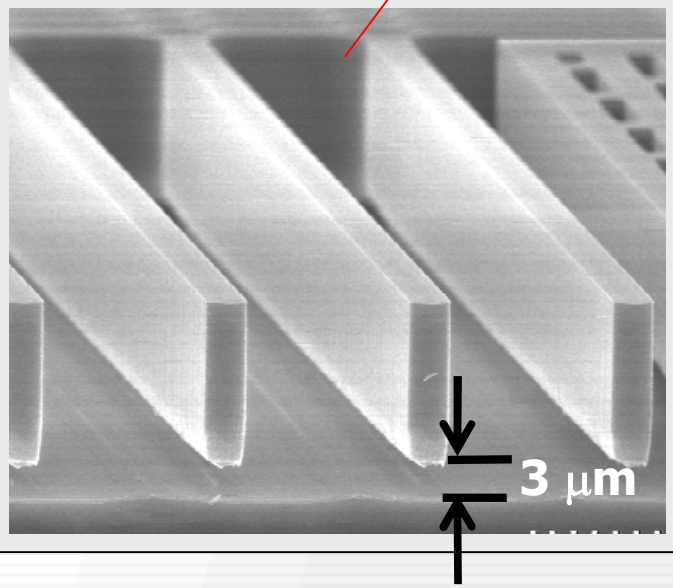
Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

加速度センサ① 出来栄え



Cross-section





Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

加速度センサ②

DENSO

※このスライドは未配布

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

加速度センサ② 出来栄え

DENSO

※このスライドは未配布

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.

まとめ

- ✓ 環境・安全・快適のベクトルで
  自動車用システムは進化する。
- ✓ そのためには車載半導体技術がキーになる。
- ✓ 半導体は微細化、複雑化が進む。
- ✓ 半導体前工程での品質作りこみが重要となる。
- ✓ 各種評価技術、解析技術の進展を期待したい。

Ⓒ DENSO CORPORATION All rights reserved.