

2015年3月2日

パワーデバイスにおける ライフタイム制御と周辺の高耐圧化

群馬大学

松田順一

概要

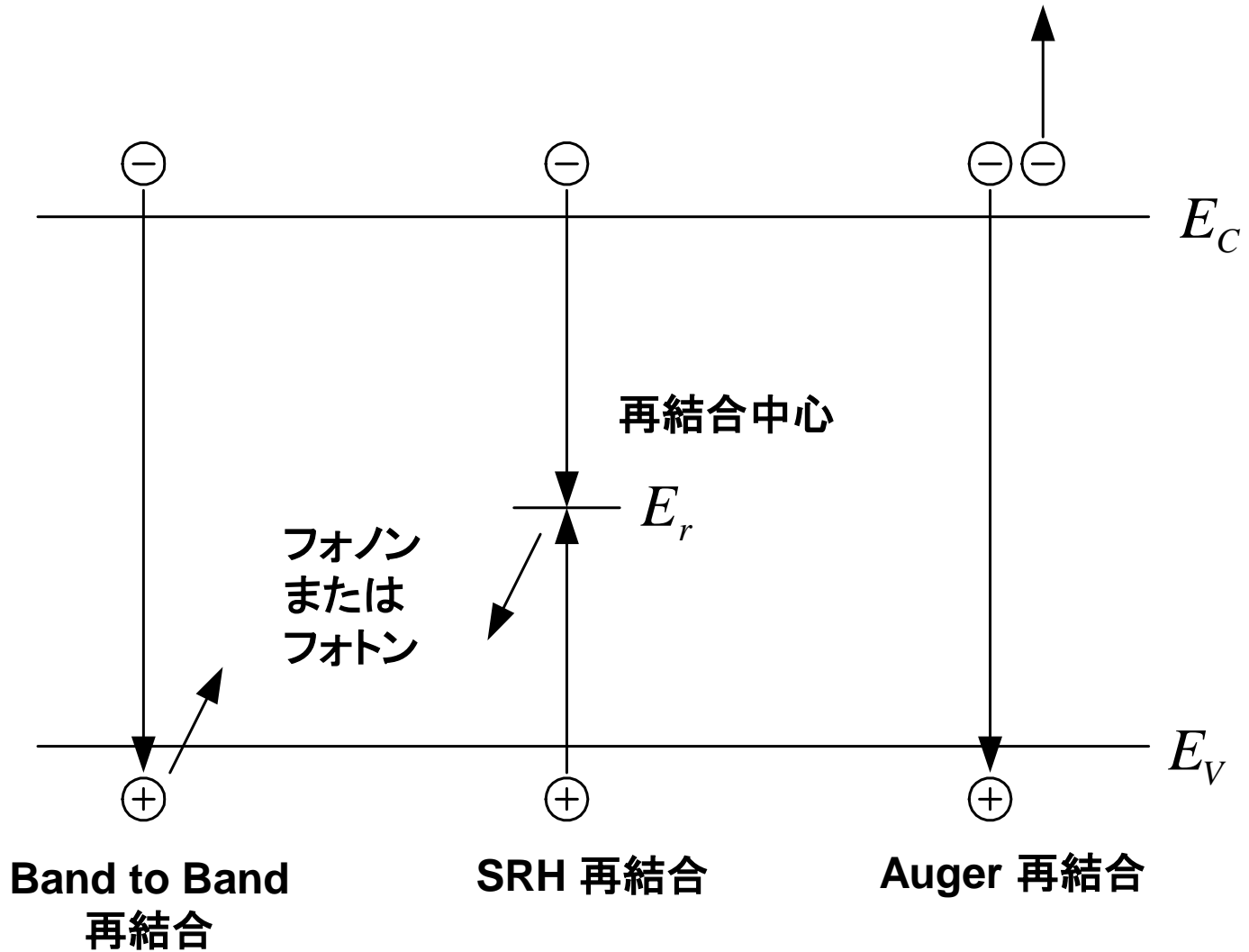
1. パワーデバイスのライフタイム制御
 1. SRH再結合
 2. 空乏層内での電荷発生
 3. 再結合準位の最適化
 4. ライフタイム制御
 5. Auger再結合
2. パワーデバイス周辺の高耐圧化
 1. アバランシェブレークダウン
 2. 階段型接合ダイオード
 3. パンチスルーダイオード
 4. 線型傾斜接合ダイオード
 5. 拡散接合ダイオード
 6. 周辺の終端構造
 1. プレーナ接合終端
 2. フローティング・フィールド・リング(単一とマルチ)終端
 3. フィールドプレート

After B. Jayant Baliga

(注)群馬大学アナログ集積回路研究会 第80回講演会(2)(2008年3月24日)資料から作成

パワーデバイスのライフタイム制御

再結合プロセス



SRH再結合

再結合率(定常状態、単一準位の再結合中心)

$$U = \frac{\delta n p_0 + \delta p n_0 + \delta n \delta p}{\tau_{p0}(n_0 + n_1 + \delta n) + \tau_{n0}(p_0 + p_1 + \delta p)}$$

δn : 過剰電子密度

δp : 過剰正孔密度

n_0 : 平衡状態電子密度

p_0 : 平衡状態正孔密度

τ_{n0} : 高ドープp型Si内の少数キャリア(電子) ライフタイム

τ_{p0} : 高ドープn型Si内の少数キャリア(正孔) ライフタイム

n_1 : 平衡状態電子密度 (フェルミ準位 = 再結合準位)

p_1 : 平衡状態正孔密度 (フェルミ準位 = 再結合準位)

$$n_1 = N_c e^{(E_r - E_c)/kT}, \quad p_1 = N_v e^{(E_v - E_r)/kT}$$

ライフタイム

- ライフタイム (空間電荷中性: $\delta n = \delta p$)

$$\tau = \frac{\delta n}{U} = \tau_{p0} \left(\frac{n_0 + n_1 + \delta n}{n_0 + p_0 + \delta n} \right) + \tau_{n0} \left(\frac{p_0 + p_1 + \delta n}{n_0 + p_0 + \delta n} \right)$$

- 規格化ライフタイム (n型Si: $n_0 > p_0$, $N_c \approx N_v$)

$$\frac{\tau}{\tau_{p0}} = \left[1 + \frac{1}{1+h} e^{(E_r - E_F)/kT} \right] + \zeta \left[\frac{h}{1+h} + \frac{1}{1+h} e^{(2E_i - E_r - E_F)/kT} \right]$$

$$\text{但し、 } h = \frac{\delta n}{n_0}, \quad \zeta = \frac{\tau_{n0}}{\tau_{p0}}$$

n型Siで考察

少数キャリアライフタイム

$$\tau_{n0} = \frac{1}{C_n N_r} = \frac{1}{V_{Tn} \sigma_{cn} N_r}, \quad \tau_{p0} = \frac{1}{C_p N_r} = \frac{1}{V_{Tp} \sigma_{cp} N_r}$$

C_n : 再結合中心での電子の捕獲率

C_p : 再結合中心での正孔の捕獲率

V_{Tn} : 電子の熱速度

V_{Tp} : 正孔の熱速度

σ_{cn} : 再結合中心での電子の捕獲断面積

σ_{cp} : 再結合中心での正孔の捕獲断面積

N_r : 再結合中心の密度

$$\Rightarrow \zeta = \frac{\tau_{n0}}{\tau_{p0}} = \frac{V_{Tp} \sigma_{cp}}{V_{Tn} \sigma_{cn}} = 0.827 \frac{\sigma_{cp}}{\sigma_{cn}}$$

σ : 再結合中心密度に依存しなく、温度の弱い関数

注入レベルによるライフタイム

- 低レベル注入 $h = \delta n/n_0 \ll 1$

$$\frac{\tau_{LL}}{\tau_{p0}} = \left[1 + e^{(E_r - E_F)/kT} \right] + \zeta e^{(2E_i - E_r - E_F)/kT}$$

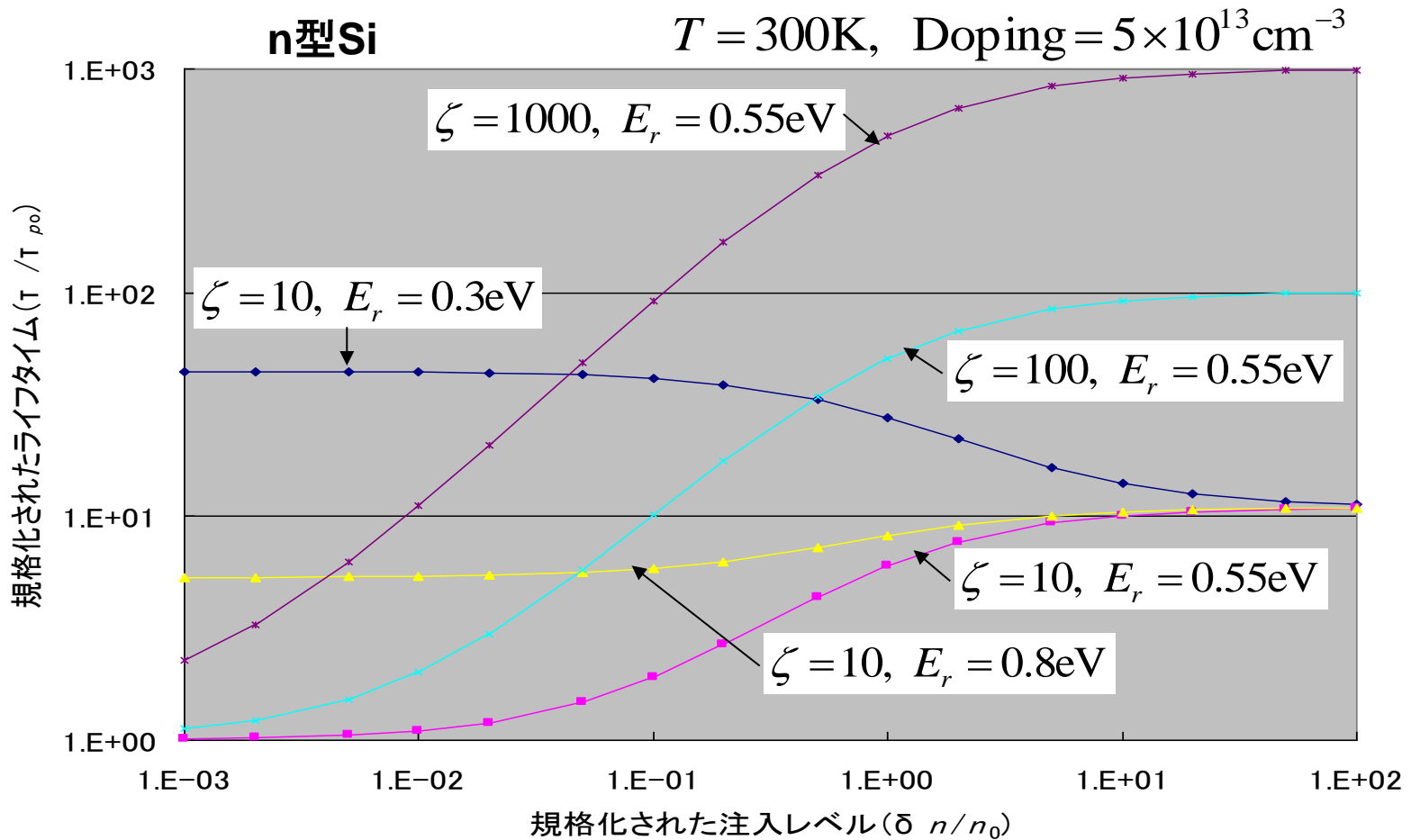
⇒ 注入キャリア密度に無関係
(再結合準位位置 (E_r) とキャリア捕獲断面積比 (ζ) に依存)

- 高レベル注入 $h = \delta n/n_0 \gg 1$

$$\frac{\tau_{HL}}{\tau_{p0}} = (1 + \zeta)$$

⇒ 一定値に漸近
(再結合準位位置 (E_r) に依存しなく、捕獲断面積比 (ζ) に依存)

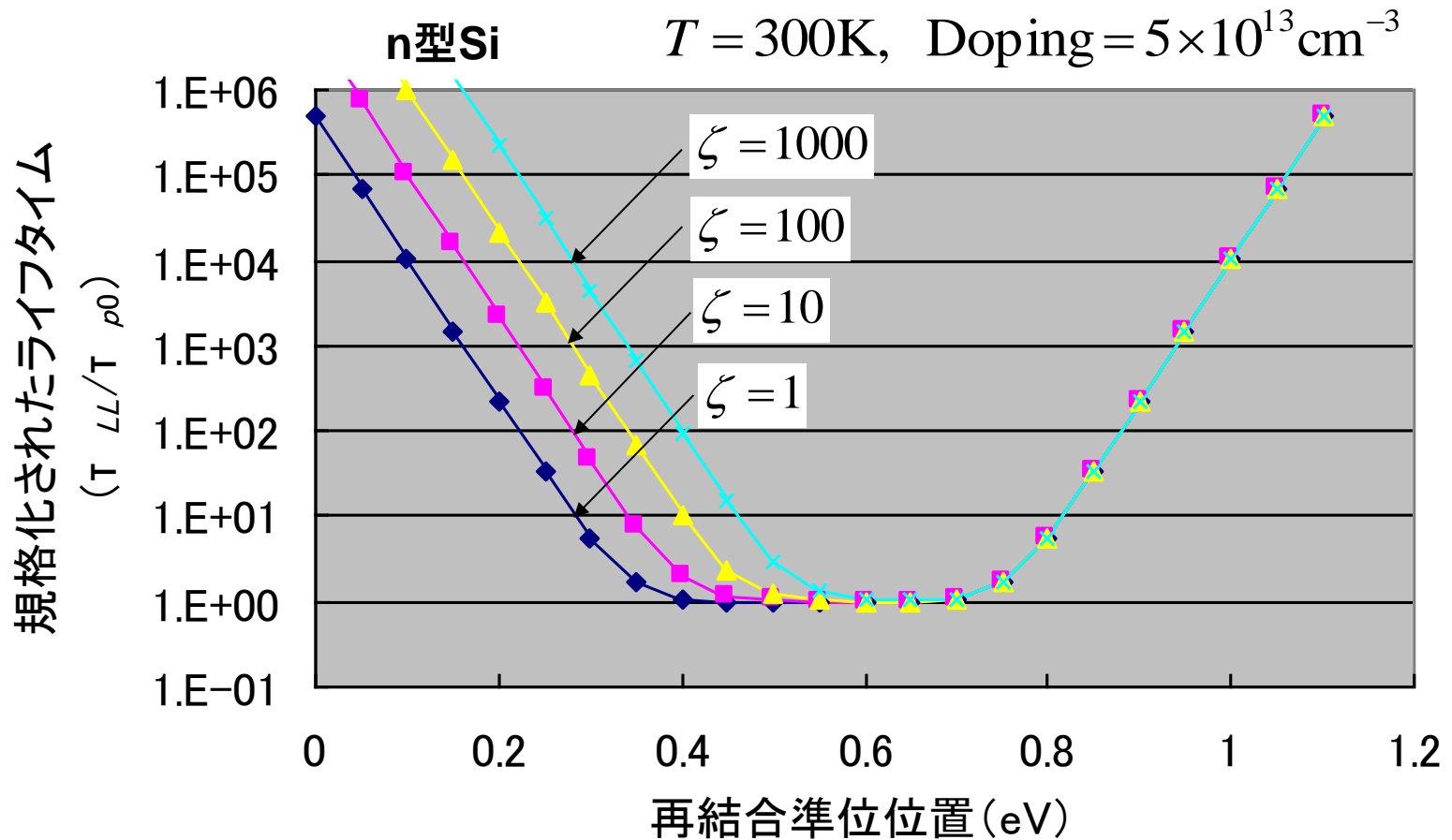
ライフタイムの注入レベル依存性



低レベル注入 ($h \ll 1$) ライフタイム \Rightarrow 注入キャリア密度に無関係 (E_r と ζ に依存)
 高レベル注入 ($h \gg 1$) ライフタイム \Rightarrow 一定値に漸近 (E_r に依存せず、 ζ に依存)

低レベル注入時のライフタイム

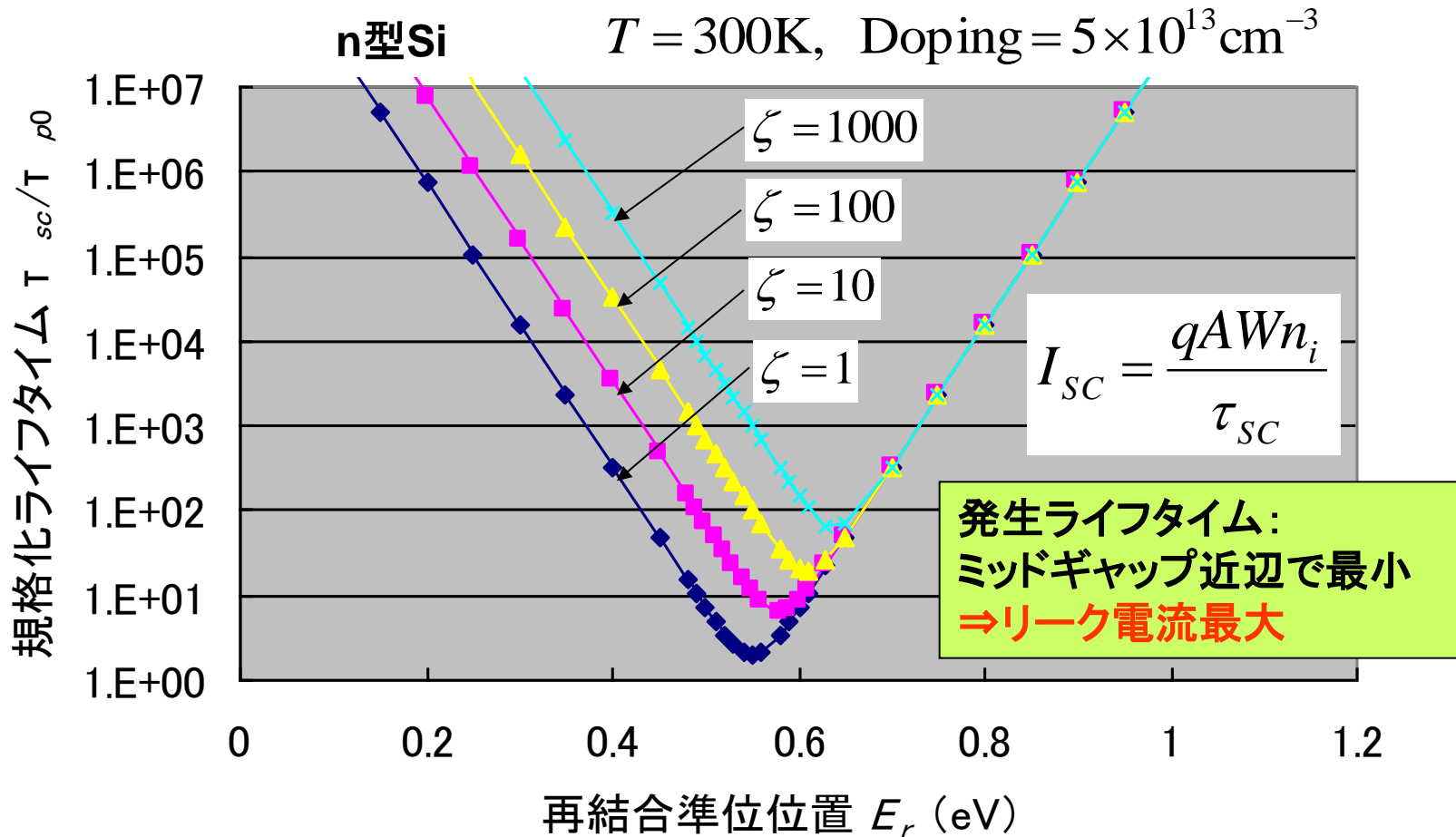
—再結合準位位置依存性—



ライフタイム: ミッドギャップ近辺で最小 ⇒ **スピードアップ**

空間電荷発生ライフタイム

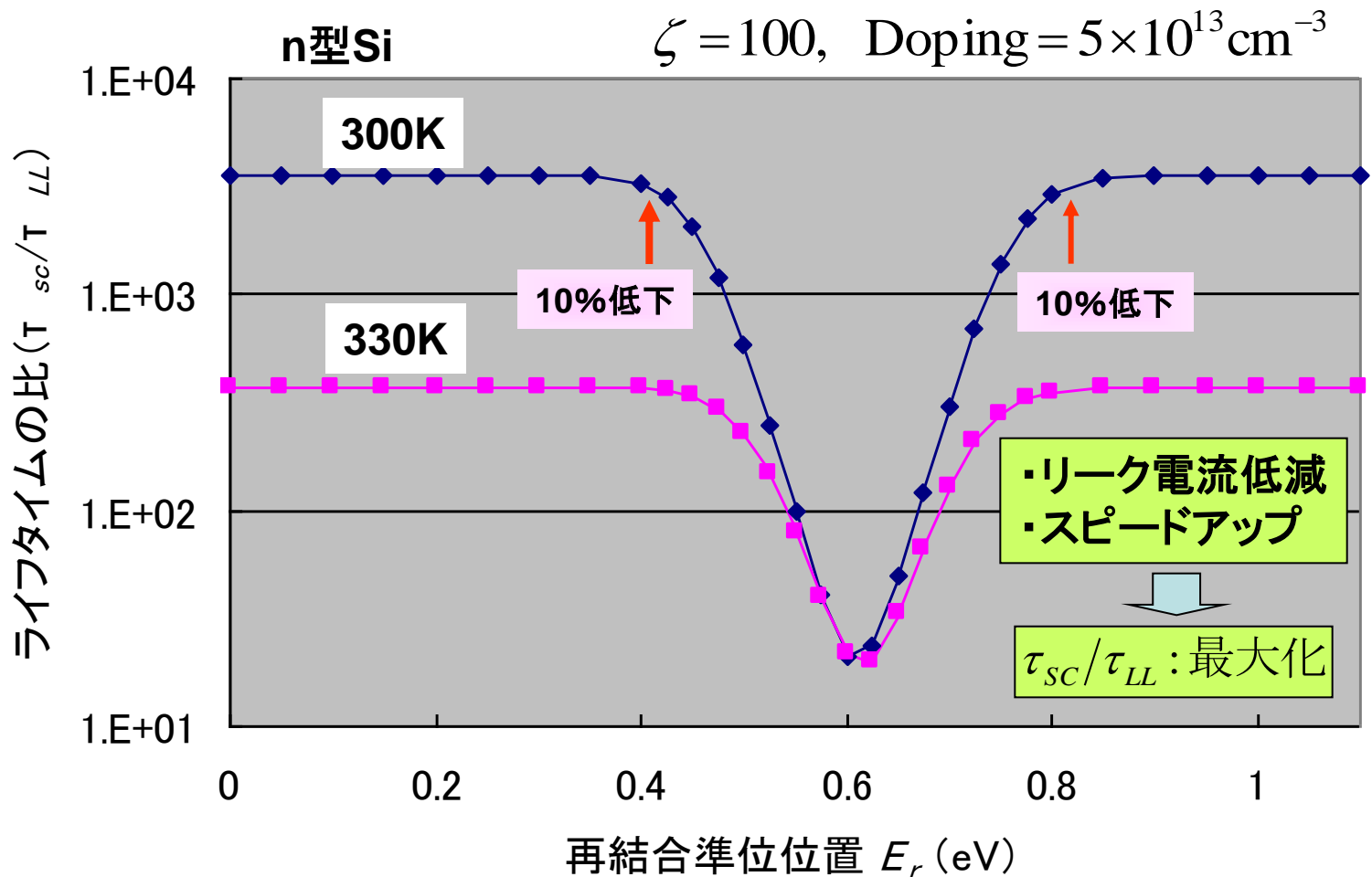
—再結合準位位置依存性—



$$\tau_{sc}/\tau_{p0} = e^{(E_r - E_i)/kT} + \zeta e^{(E_i - E_r)/kT}$$

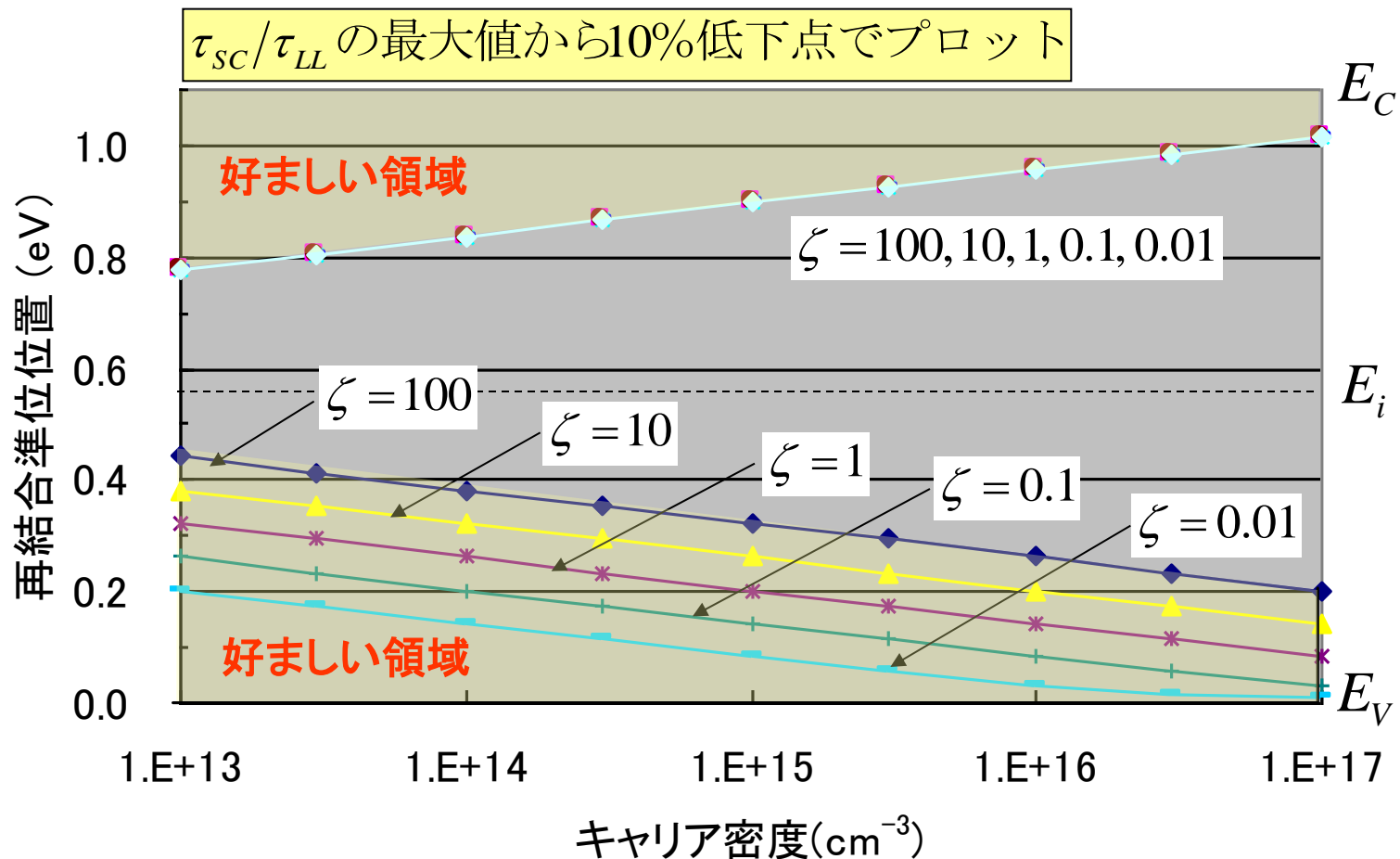
再結合準位位置の最適化

—低レベル注入—



再結合準位位置の最適領域

—低レベル注入—



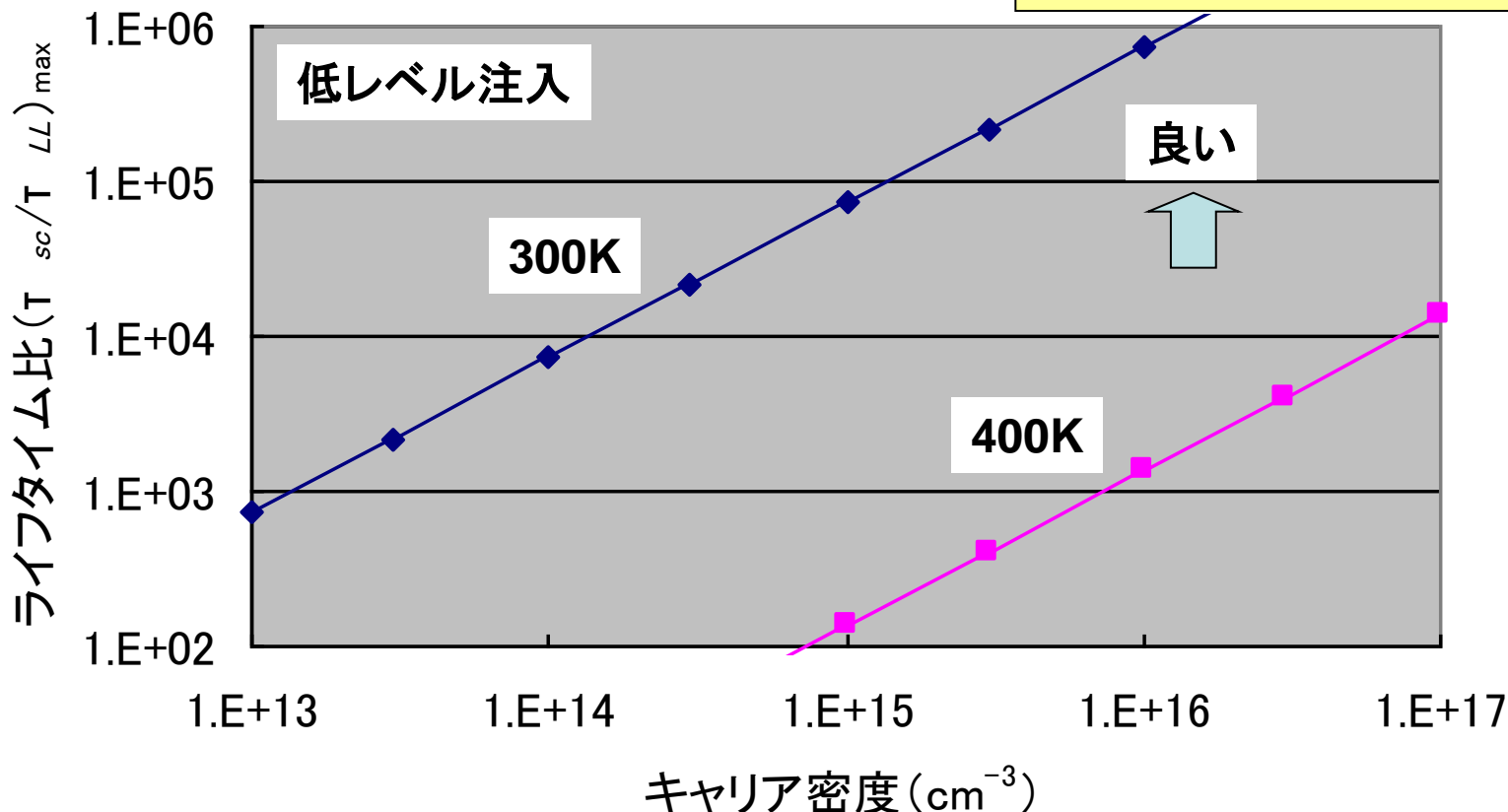
ミッドギャップより上の好ましい領域 \Rightarrow 全ての ζ に適用
 ミッドギャップより下の好ましい領域 \Rightarrow 大きな ζ が良好

低ドーピング材料
 \Rightarrow 広い最適領域

ライフタイム比 $(\tau_{SC}/\tau_{LL})_{\max}$ のキャリア密度依存性 — 低レベル注入 —

$$(\tau_{SC}/\tau_{LL})_{\max} = e^{(E_F - E_i)/kT} = n_0/n_i$$

再結合中心⇒バンド端近傍
ドーピング密度に依存



低ドーピング密度かつ高温 ⇒ $(\tau_{SC}/\tau_{LL})_{\max}$ 低減
⇒ 高抵抗基板: τ_{LL} の低減にはリーク電流増大が伴う(低抵抗基板と比較)

高レベル注入時のライフタイム

－最適な再結合準位位置－

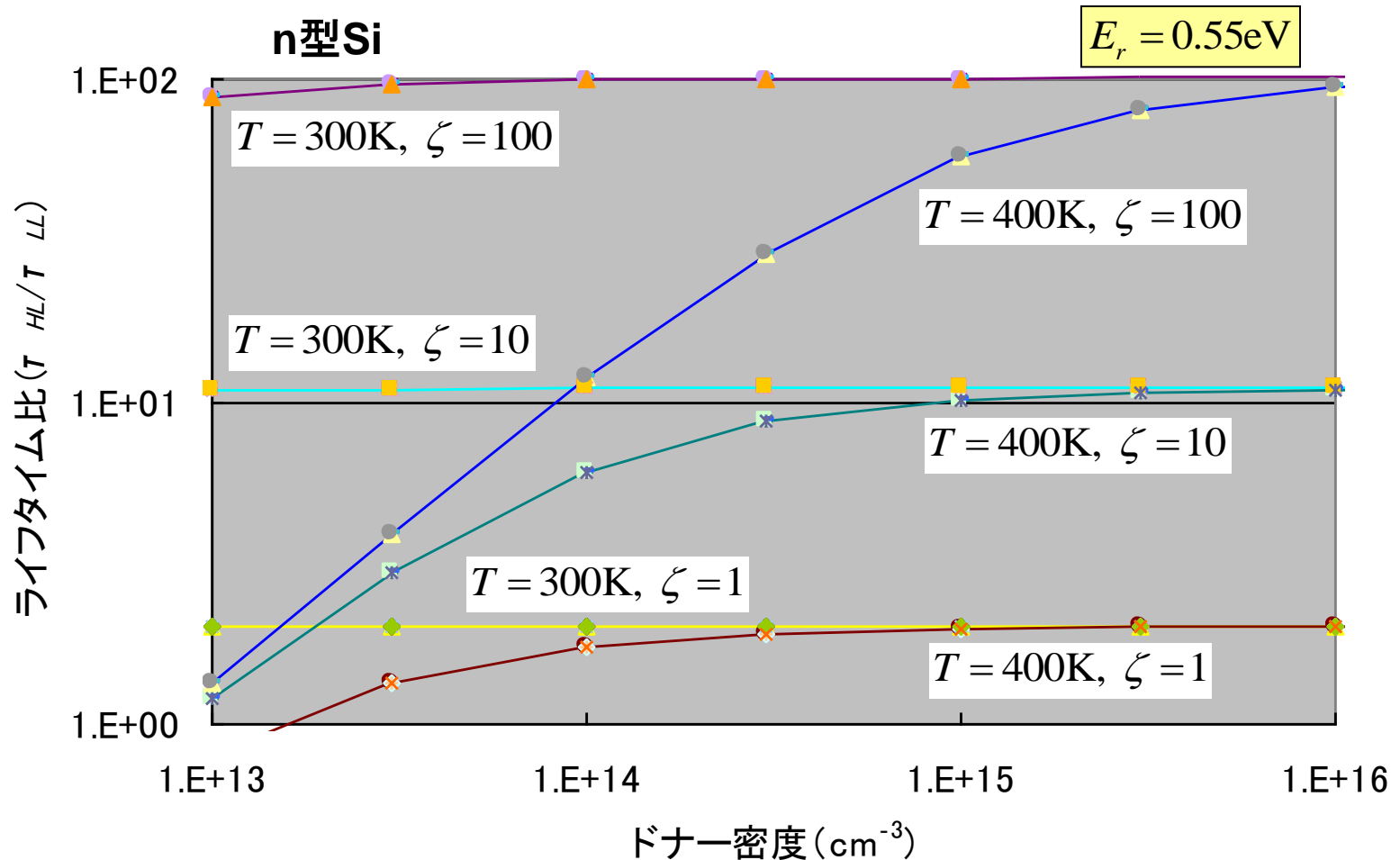
- パワーデバイスに求められる条件
 - － 伝導度変調の増大
 - 高レベル注入ライフタイムの最大化
 - － スwitching過程のスピードアップ
 - 低レベル注入ライフタイムの最小化
- 最適な再結合準位位置

$$\frac{\tau_{HL}}{\tau_{LL}} = \frac{1 + \zeta}{1 + e^{(E_r - E_F)/kT} + \zeta e^{(2E_i - E_F - E_r)/kT}} \Rightarrow \text{最大化(最適)}$$

$$\frac{d}{dE_r} \left(\frac{\tau_{HL}}{\tau_{LL}} \right) = 0 \Rightarrow E_r = E_i + \frac{kT}{2} \ln(\zeta)$$

最適な再結合準位位置 \Rightarrow 捕獲断面積比と温度に依存

ライフタイム比 (τ_{HL}/τ_{LL}) のドナー密度依存性 —高レベル注入—



τ_{HL}/τ_{LL} の増大 \Rightarrow 捕獲断面積比:大、ドーピング密度:大、温度:低

低⇒高レベル注入ライフタイムへの移行

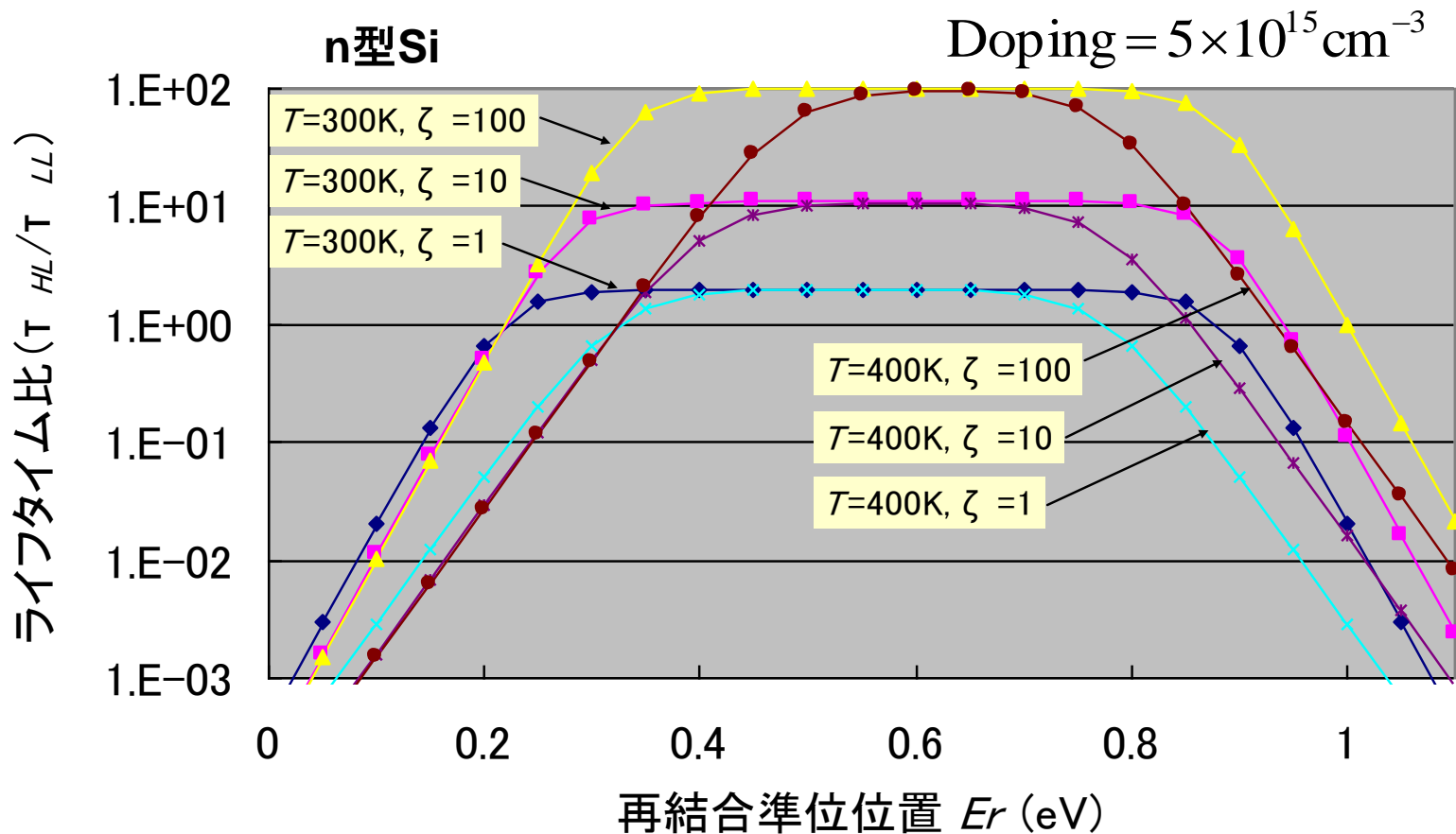
- 最適な再結合準位位置

$$\frac{d}{dE_r} \left(\frac{d\tau}{dh} \right) = 0 \quad \Rightarrow \quad \text{ライフタイムの移行最大}$$

$$\Rightarrow E_r = E_i + \frac{kT}{2} \ln(\zeta) \quad \Rightarrow \quad \text{最適位置: ミッドギャップ近傍}$$

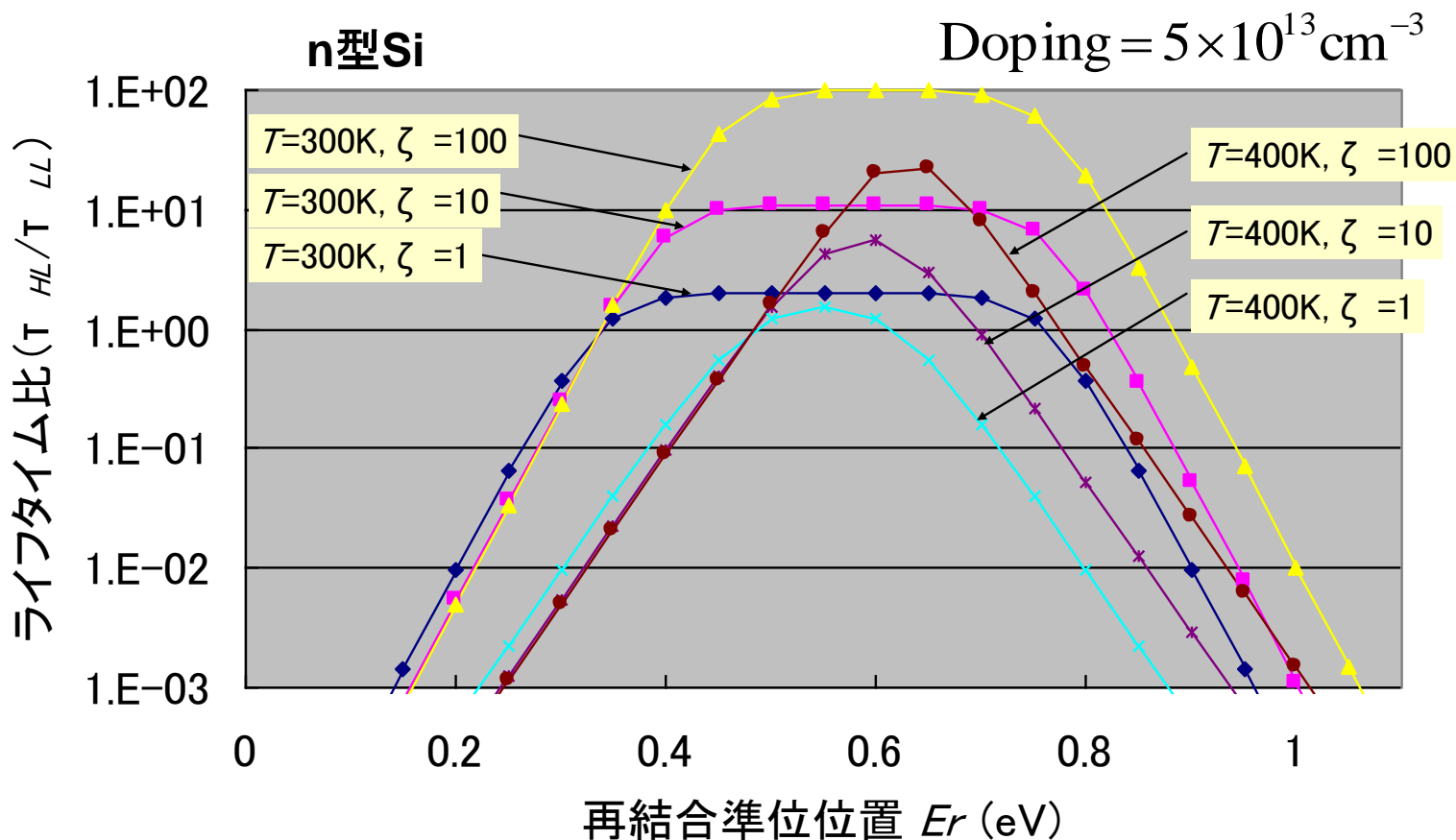
- ⇒ 伝導度変調増大/スイッチング過程のスピードアップ最大化条件と同じ
- ⇒ 最適位置では空間電荷リーク電流増大
(リーク電流を抑えた最適化を図る必要有)

ライフタイム比 (τ_{HL}/τ_{LL}) と E_r -高ドーピング-



高ドーピング ⇒ 広い領域で高いライフタイム比 (τ_{HL}/τ_{LL}) を確保

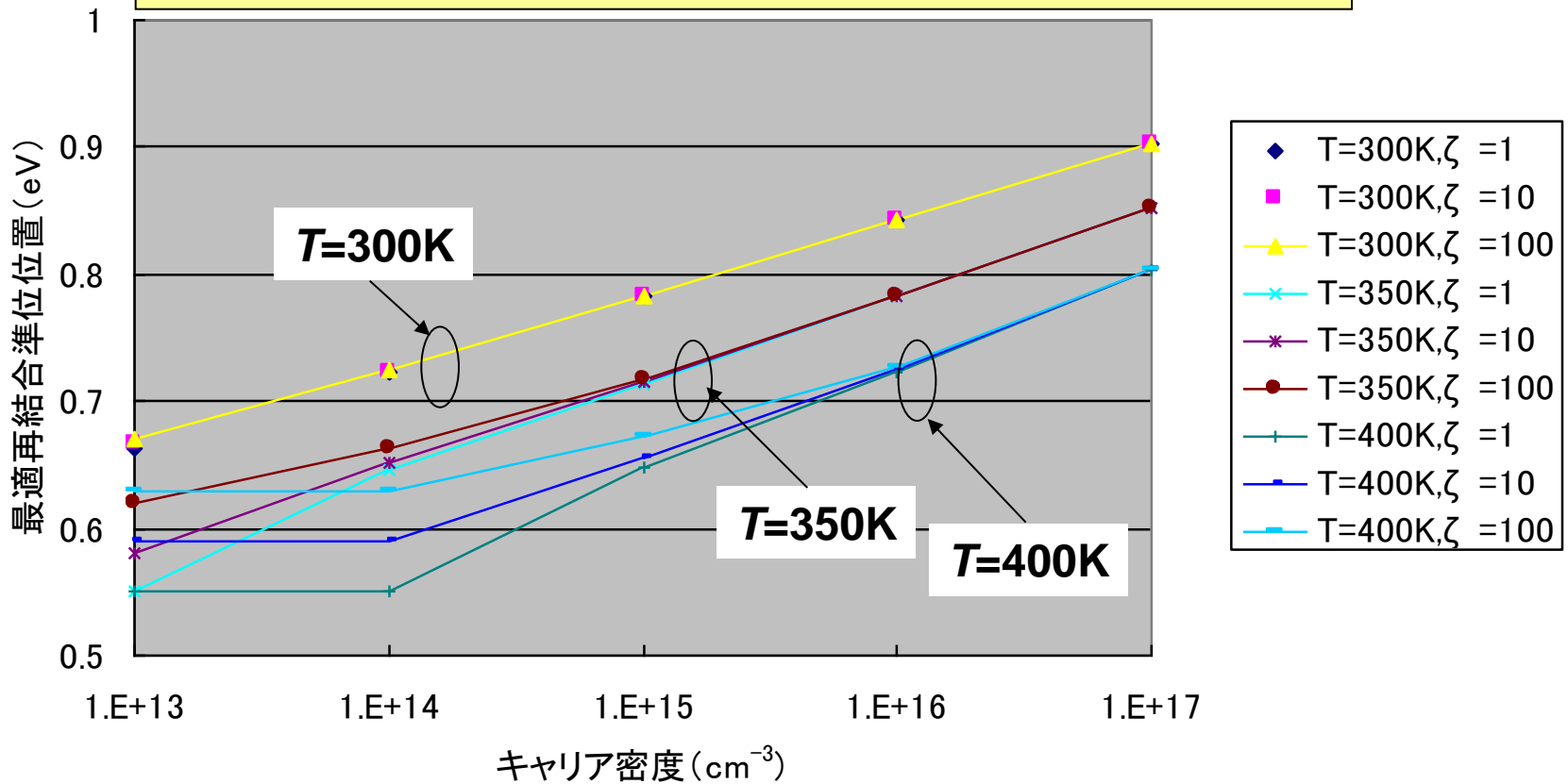
ライフタイム比 (τ_{HL}/τ_{LL}) と E_r -低ドーピング-



低ドーピング ⇒ 狭い領域でのみ高いライフタイム比 (τ_{HL}/τ_{LL}) を確保

高レベル注入時の最適な E_r 位置

最適位置 $\Rightarrow \tau_{HL}/\tau_{LL}$ のピーク位置から10%低下位置
 E_i より上の E_r 採用 $\because \tau_{LL}(E_r > E_i \text{領域}) < \tau_{LL}(E_r < E_i \text{領域})$



最適再結合準位位置: キャリア密度の低下と共にミッドギャップに接近
 (\Rightarrow 高電圧デバイスではリーク電流低減難)

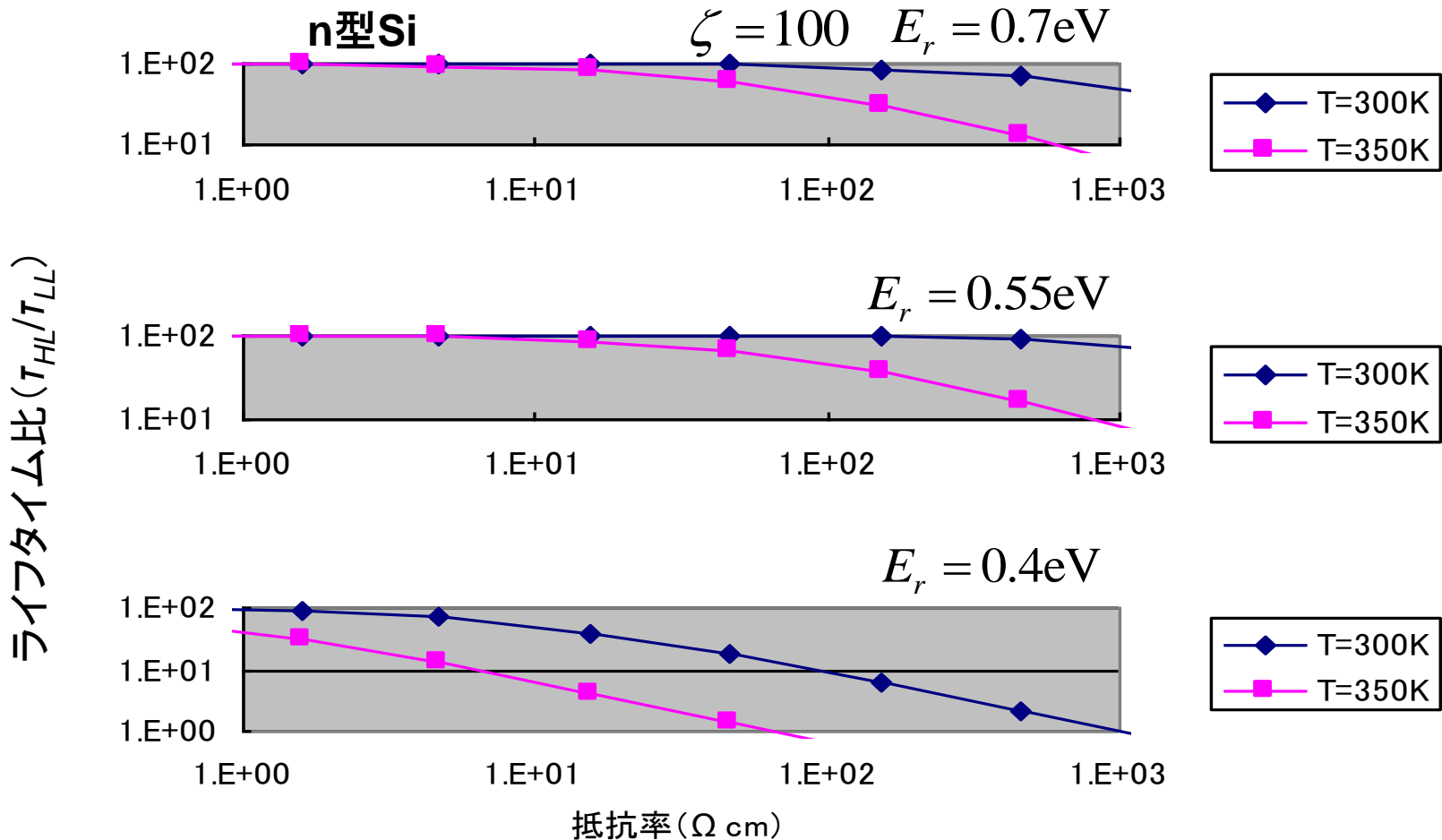
補償効果

- 再結合準位密度 \cong ドナー密度
 - 電子: ドナー準位 \Rightarrow 再結合準位
 - 伝導帯中の正味の電子低減 \Rightarrow 抵抗率増大
 - ブレークダウン電圧と伝導状態に影響
 - 対策
 - 再結合準位密度の低減
 - 電子と正孔のキャリア捕獲断面積拡大

$$\tau_{n0} = \frac{1}{C_n N_r} = \frac{1}{V_{Tn} \sigma_{cn} N_r}, \quad \tau_{p0} = \frac{1}{C_p N_r} = \frac{1}{V_{Tp} \sigma_{cp} N_r}$$

ライフタイム比 (τ_{HL}/τ_{LL}) の抵抗率依存性

— 同じ深い準位の不純物の採用 —

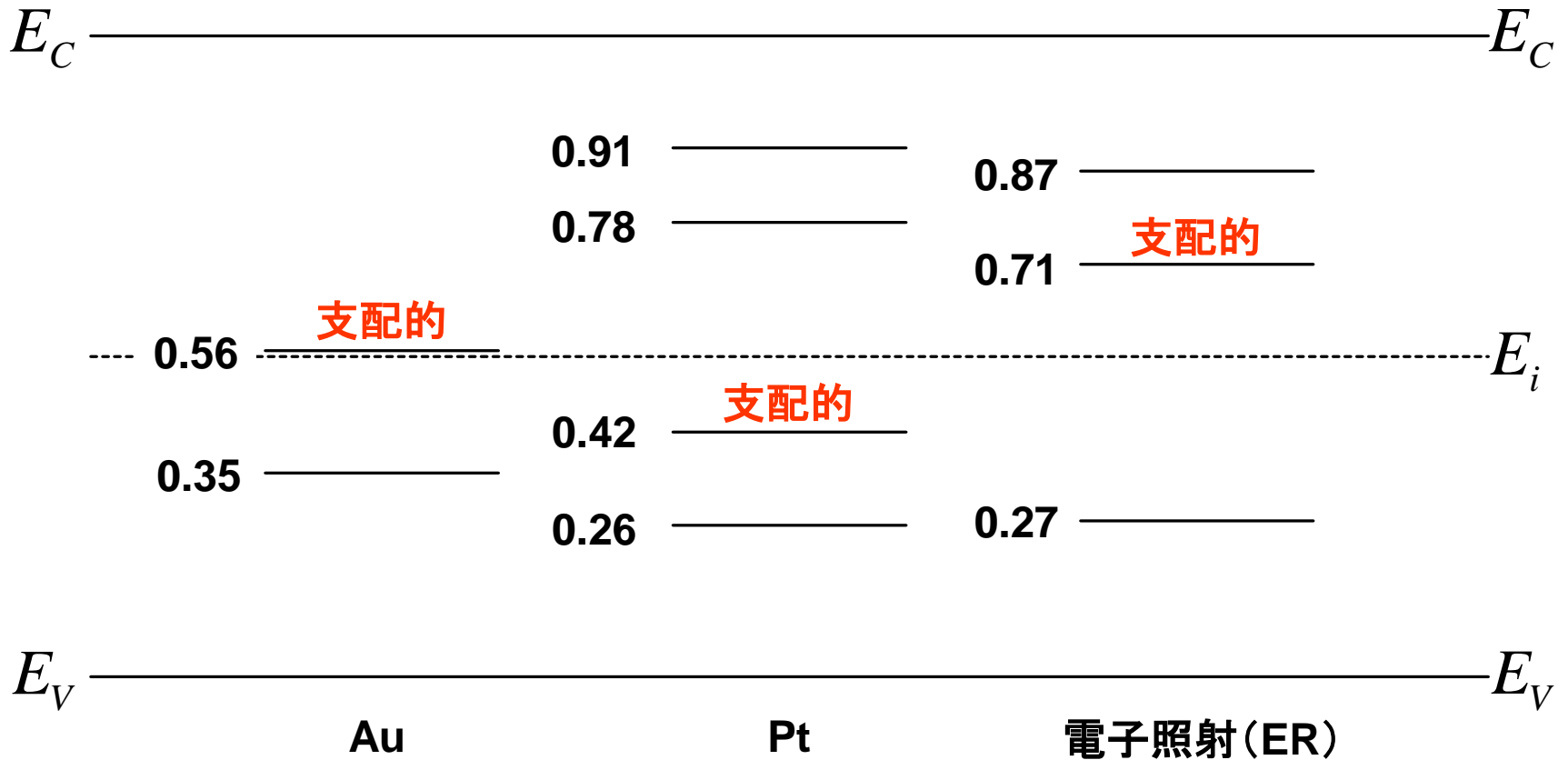


$E_r=0.7\text{eV} \Rightarrow$ 抵抗率の広い範囲に対し、ライフタイム比 (τ_{HL}/τ_{LL}) 大

ライフタイム制御

- 深い準位の形成
 - 不純物拡散 (Au、Ptなど)
 - 拡散温度: 800~900°C
 - 高エネルギー粒子注入 (空孔、格子間原子)
 - 電子、 γ 線、プロトン、He注入
 - デバイス完成後室温プロセスで処理
 - ドーズ量によるライフタイムの制御
 - デバイス特性のばらつき小
 - デバイス特性のトリミング可能 (追加注入)
 - 照射ダメージのアニールアウト (400°C以下で可能)
 - クリーンプロセス

Si中の再結合準位位置



支配的準位: n型Si中

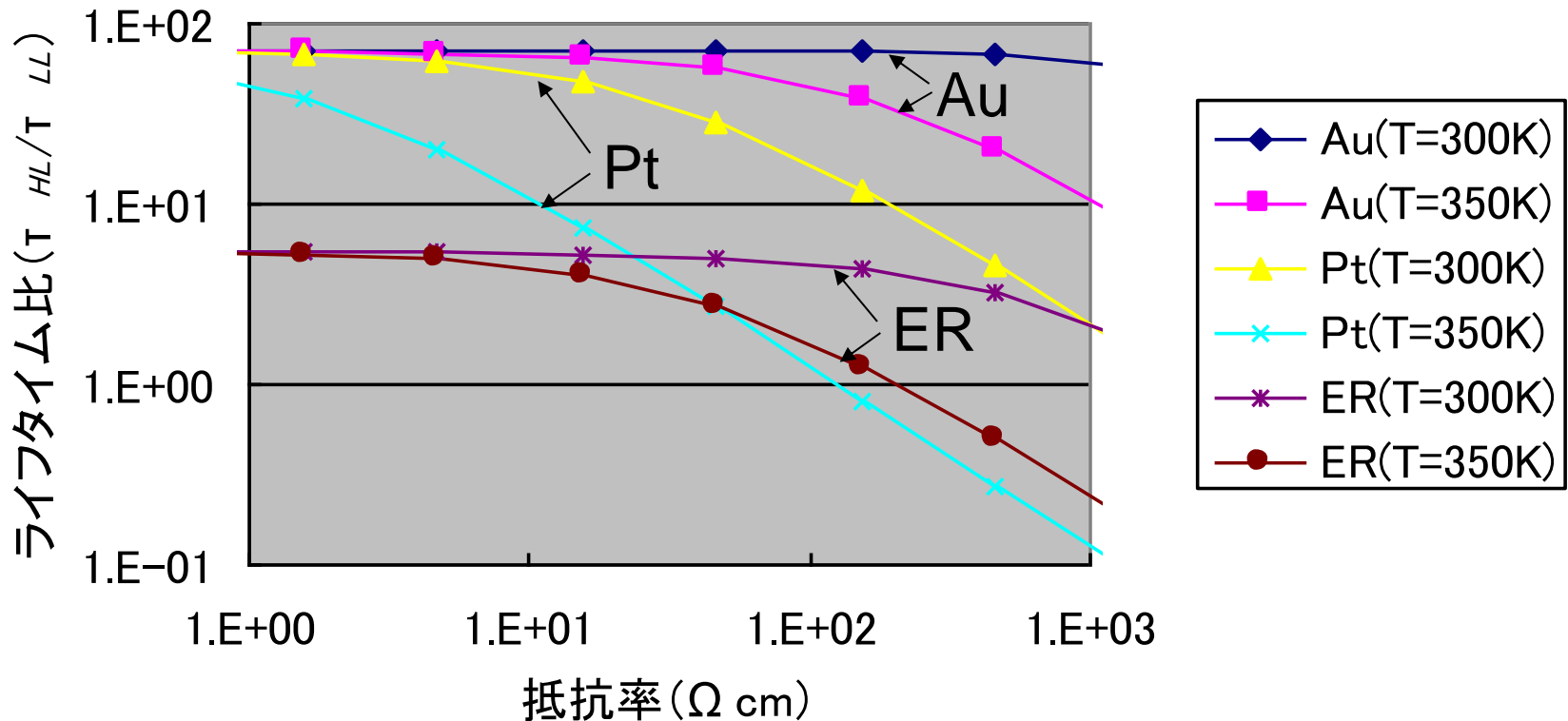
Si中の支配的再結合準位

—Au、Pt、ER—

不純物	再結合準位位置 (eV)	捕獲断面積		ζ (T_{n0}/T_{p0})
		正孔 (cm ²)	電子 (cm ²)	
Au	0.56	6.08×10^{-15}	7.21×10^{-17}	69.7
Pt	0.42	2.70×10^{-12}	3.20×10^{-14}	69.8
電子照射 (ER)	0.71	8.66×10^{-16}	1.61×10^{-16}	4.42

ライフタイム比 (τ_{HL}/τ_{LL}) の抵抗率依存性

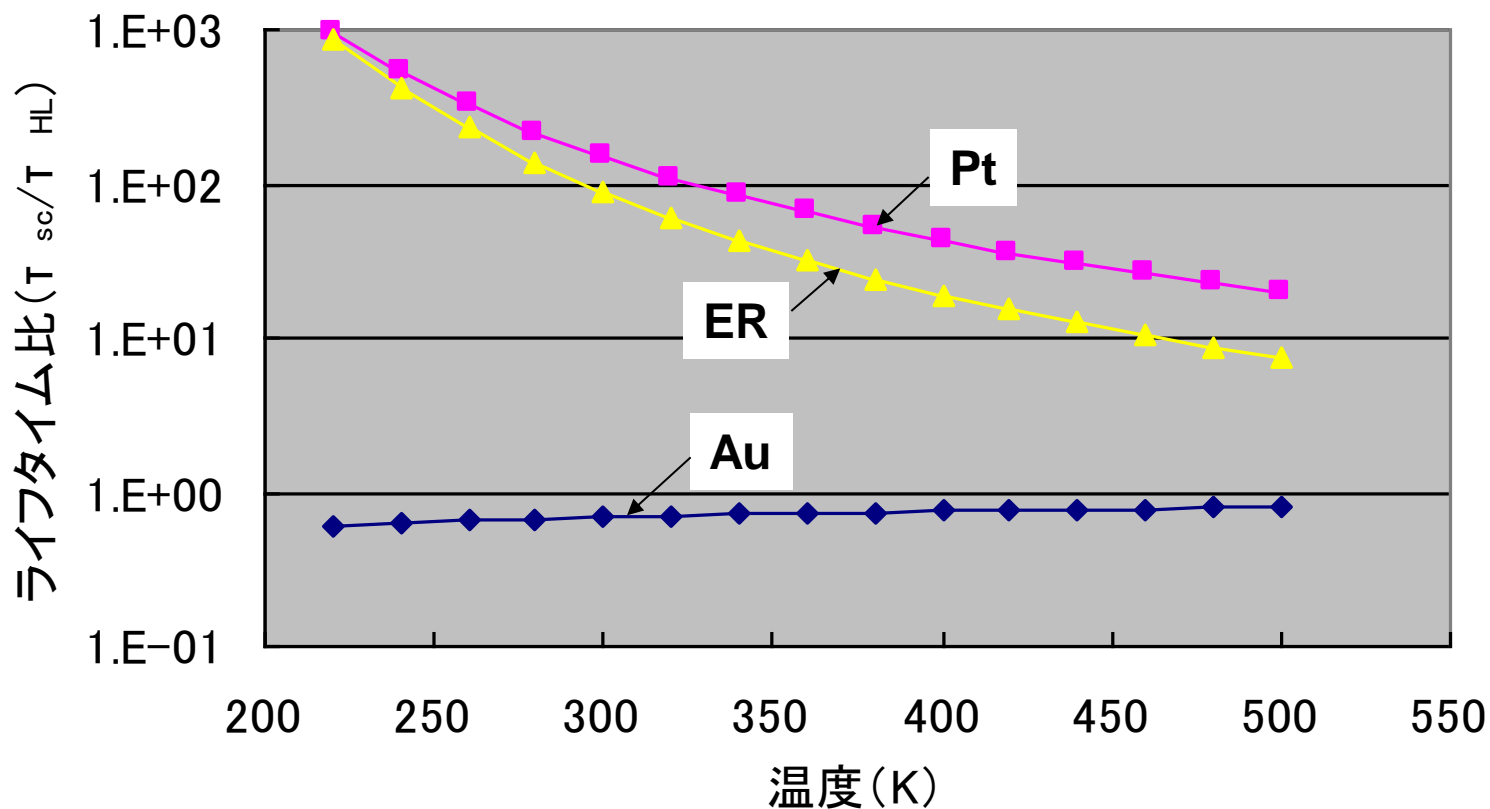
— Au、Pt、電子照射 (ER) —



Au(ERと比較) : τ_{HL}/τ_{LL} 大 $\Rightarrow V_F$: 低、スイッチングスピード : アップ

ライフタイム比 (T_{SC}/T_{LL}) の温度依存性

— Au、Pt、電子照射 (ER) —



リーク電流低減 (順方向伝導特性で規格化) \Rightarrow ER、Pt $>$ Au

Augerライフタイム

- 高濃度n型Siへの低レベル注入の場合

$$\tau_A^N = \frac{1}{2.8 \times 10^{-31} n^2} \quad n: \text{電子密度}$$

- 高濃度p型Siへの低レベル注入の場合

$$\tau_A^P = \frac{1}{1 \times 10^{-31} p^2} \quad p: \text{正孔密度}$$

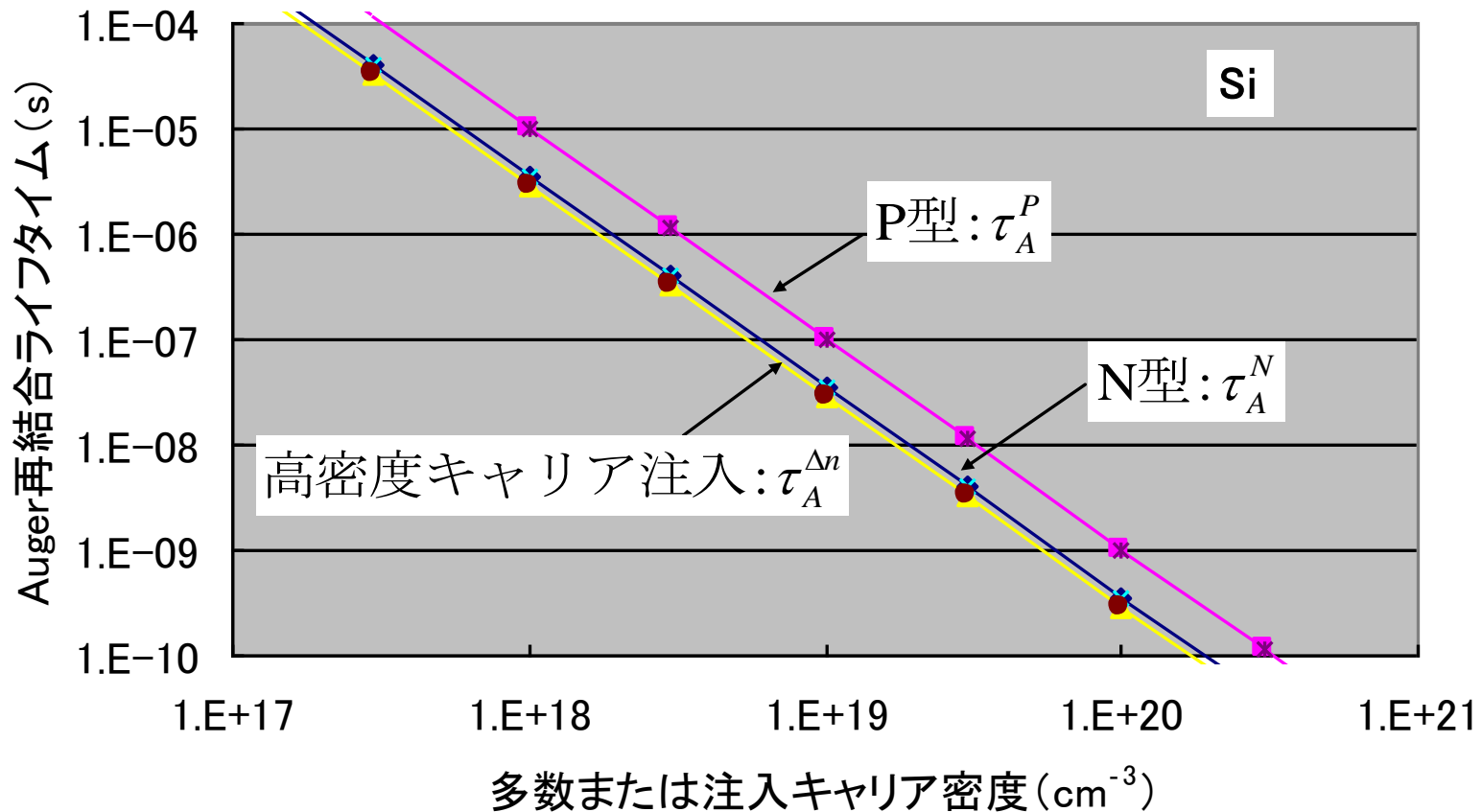
- 低濃度(高抵抗)n型Siへの高レベル注入

$$\tau_A^{\Delta n} = \frac{1}{3.4 \times 10^{-31} \Delta n^2} \quad \Delta n: \text{過剰キャリア密度}$$

- 実効的なライフタイム

$$\frac{1}{\tau_{eff}} = \frac{1}{\tau_{SRH}} + \frac{1}{\tau_A}$$

Auger再結合ライフタイム



Auger再結合 \Rightarrow 高濃度領域 (P^+ 、 N^+)、高密度キャリア注入で顕著
(サージ電流 ($n > 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 時に伝導特性とスイッチングスピードに影響)

パワーデバイス周辺の高耐圧化

平行平板型接合の臨界電界

- アバランシェ破壊条件

$$\int_0^W \alpha dx = 1$$

$\alpha = 1.85 \times 10^{-35} E^7$: インパクトイオン化係数

W : 空乏層幅

$$\begin{cases} E(x) = \frac{qN_A}{\epsilon_s} (W - x) \\ V(x) = \frac{qN_A}{\epsilon_s} (Wx - x^2/2) \end{cases}$$

- 臨界電界時の空乏層幅とアバランシェ破壊電圧

$$W_{c,PP} = 2.67 \times 10^{10} N_A^{-7/8}, \quad BV_{PP} = 5.34 \times 10^{13} N_A^{-3/4}$$

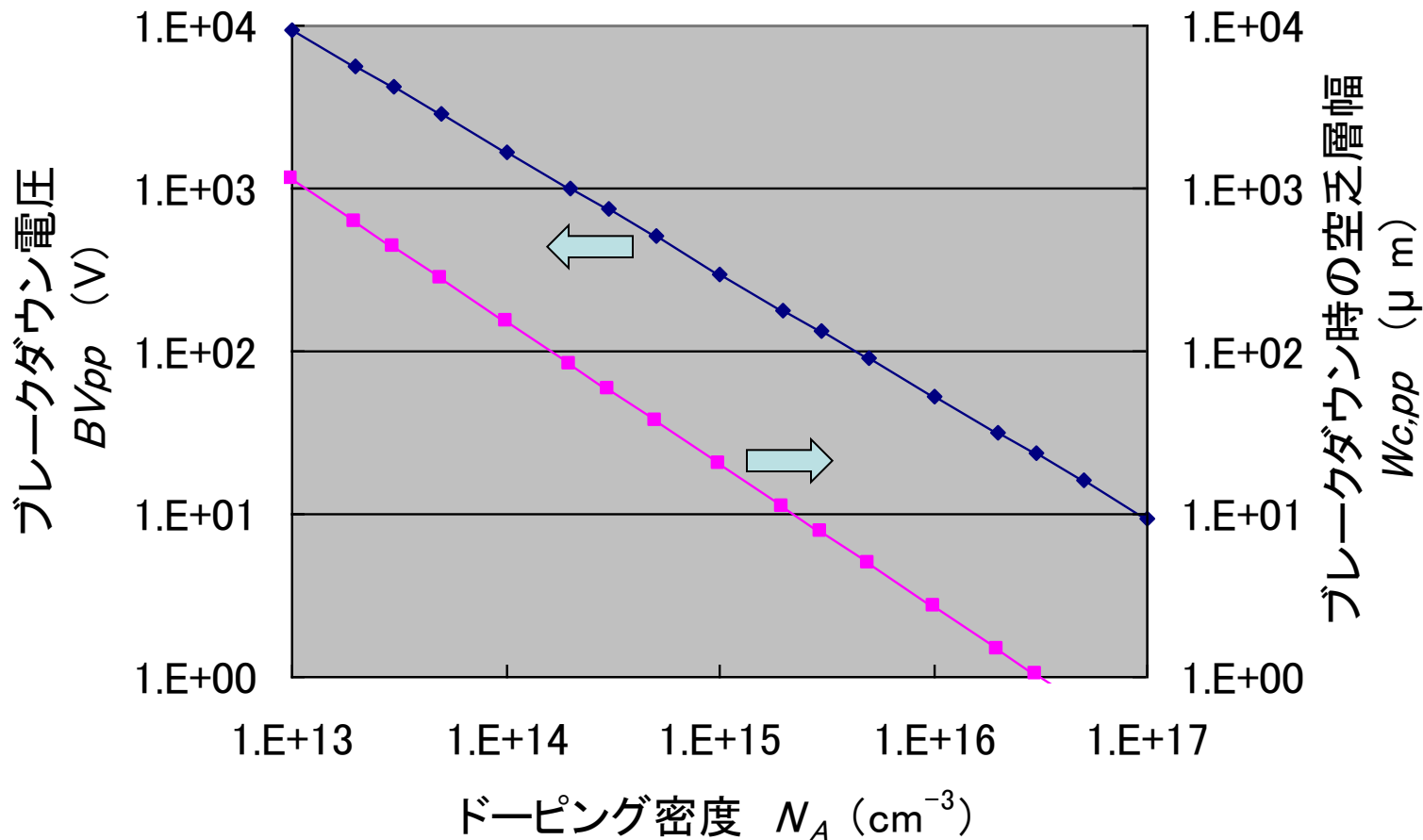
- 臨界電界

$$E_{c,PP} = 4.01 \times 10^3 N_A^{1/8}$$

臨界電界時の基本的関係

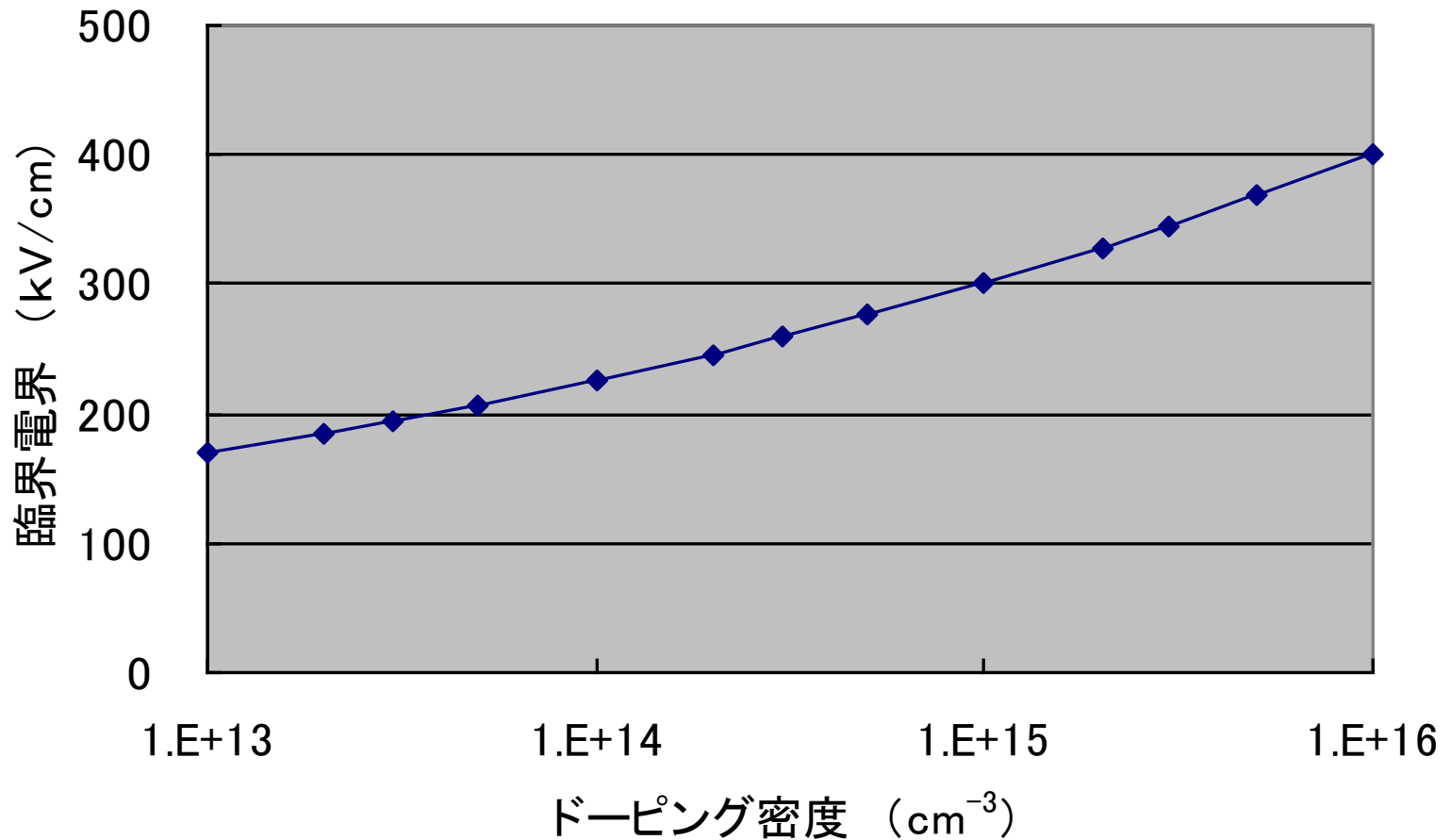
- ・アバランシェ破壊電圧
- ・ドーピング密度
- ・空乏層幅

ブレークダウン電圧と空乏層幅 — 階段型接合 —



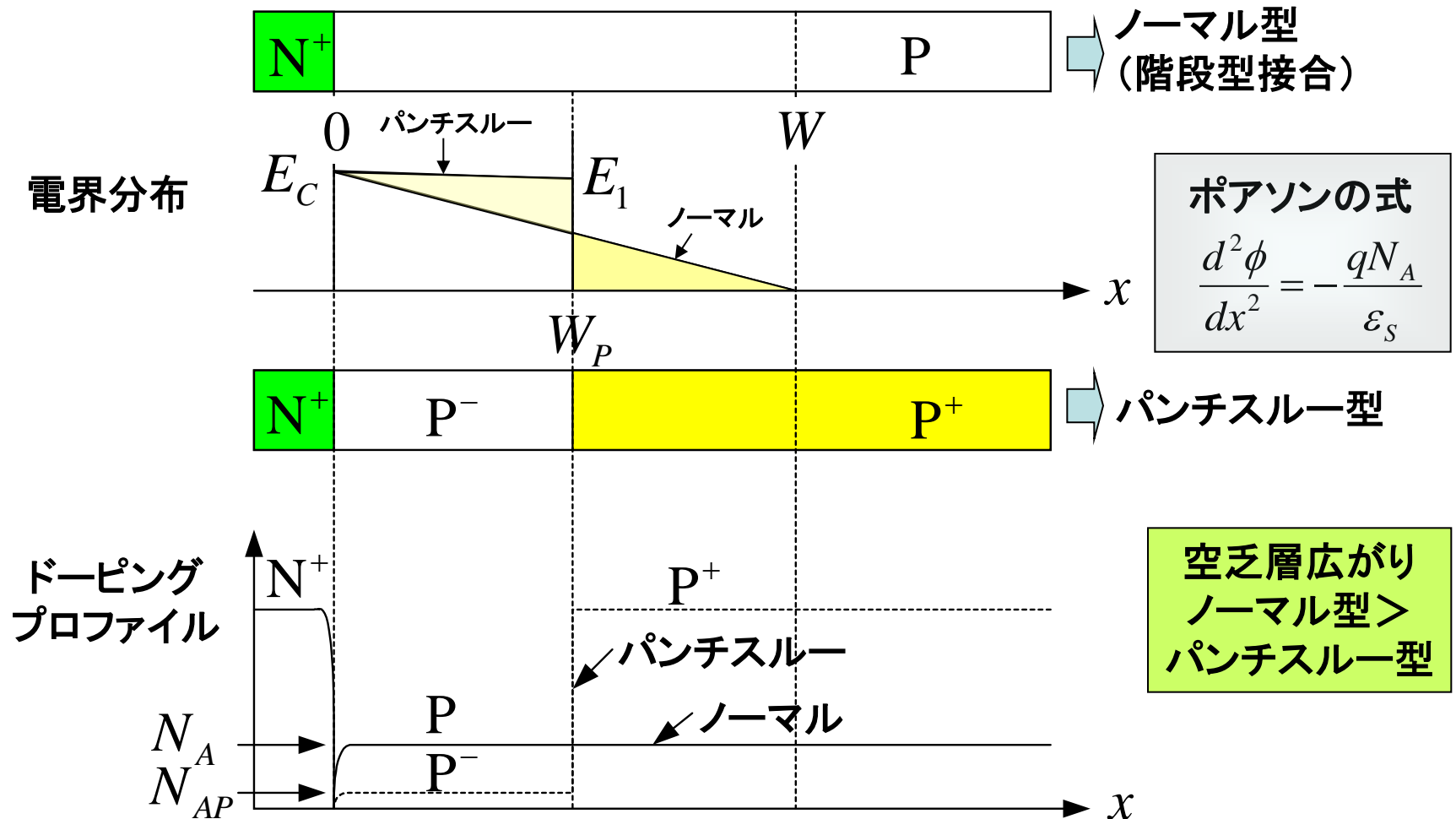
臨界電界とドーピング密度との関係

—階段型接合—



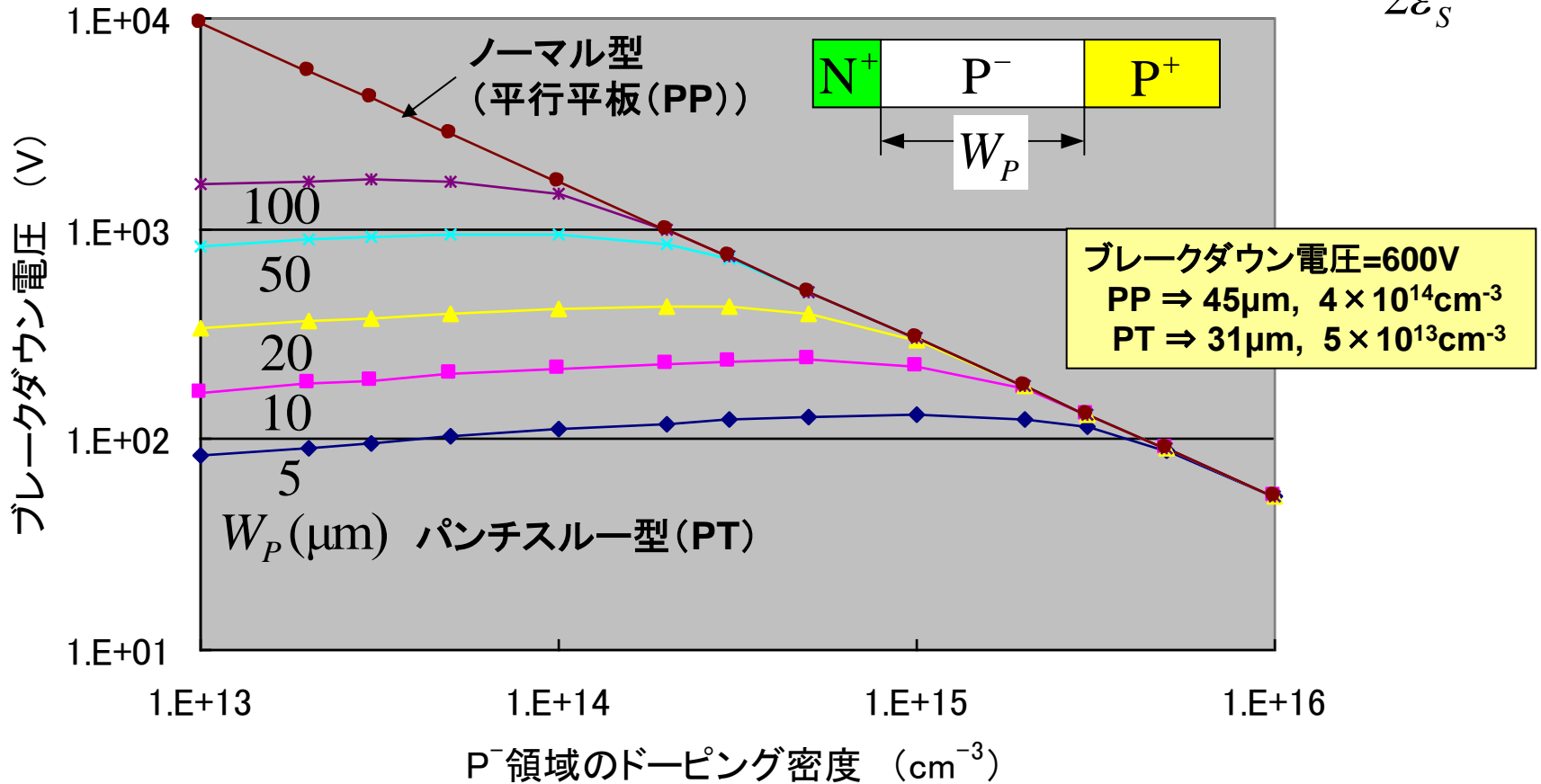
ノーマルとパンチスルーダイオードの比較

—電界分布とドーピングプロファイル—



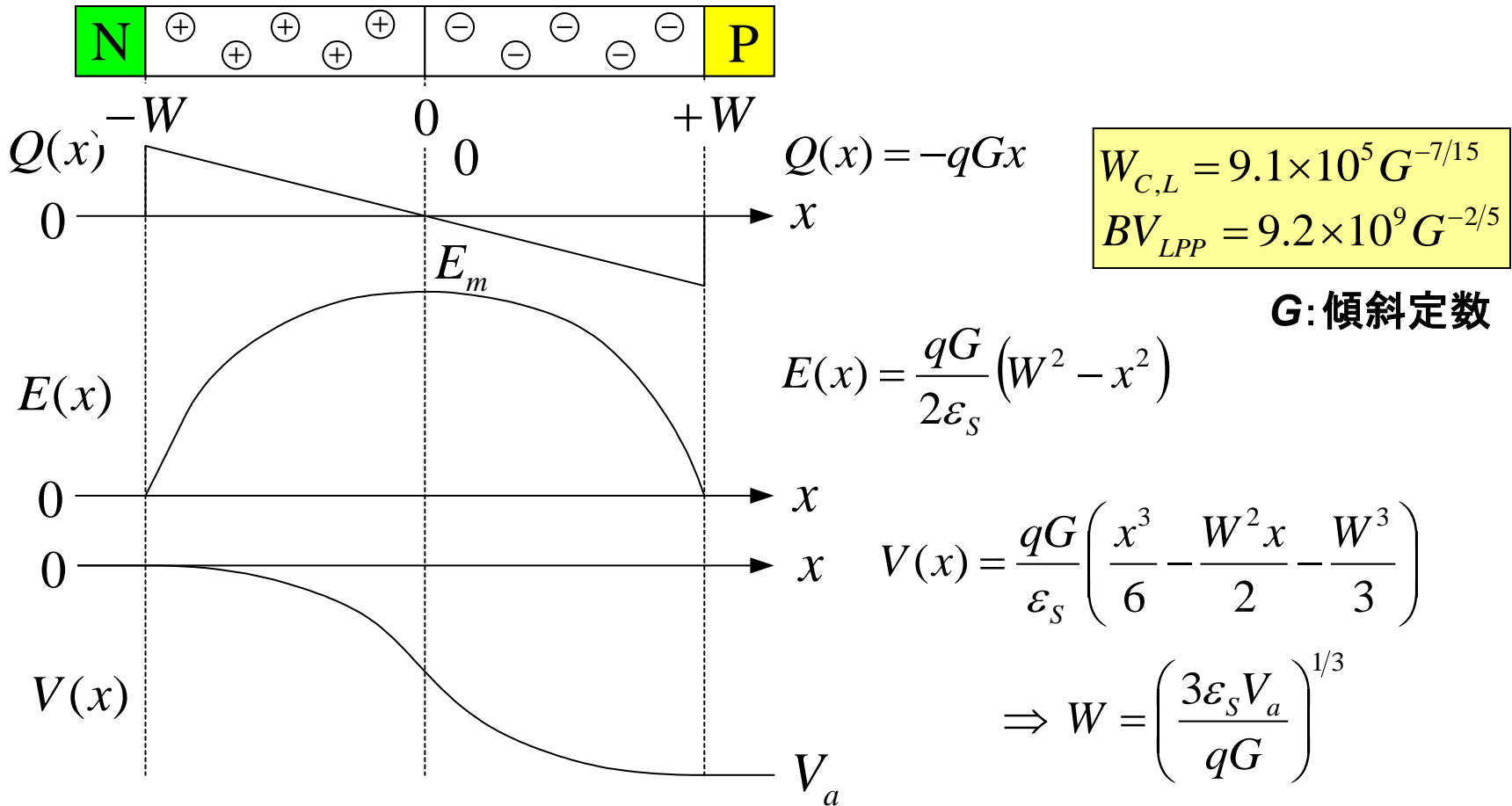
パンチスルーダイオード —ブレークダウン電圧 vs. ドーピング密度—

$$V_{PT} = E_C W_P - \frac{qN_{AP} W_P^2}{2\epsilon_S}$$



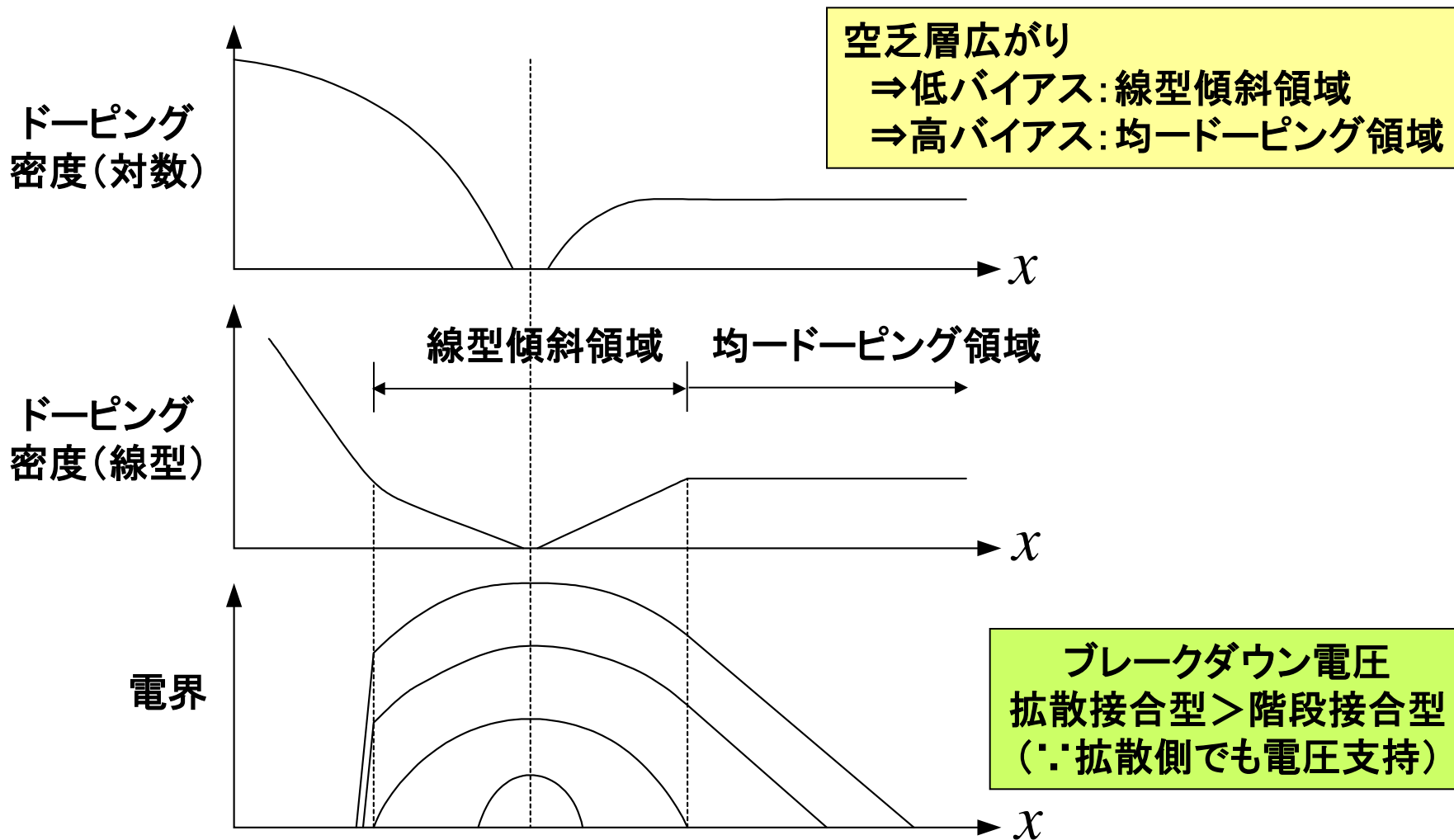
パンチスルー型はノーマル型に比べ W_Pを小さくできる ⇒ R_{on} 減

線型傾斜接合ダイオード



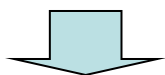
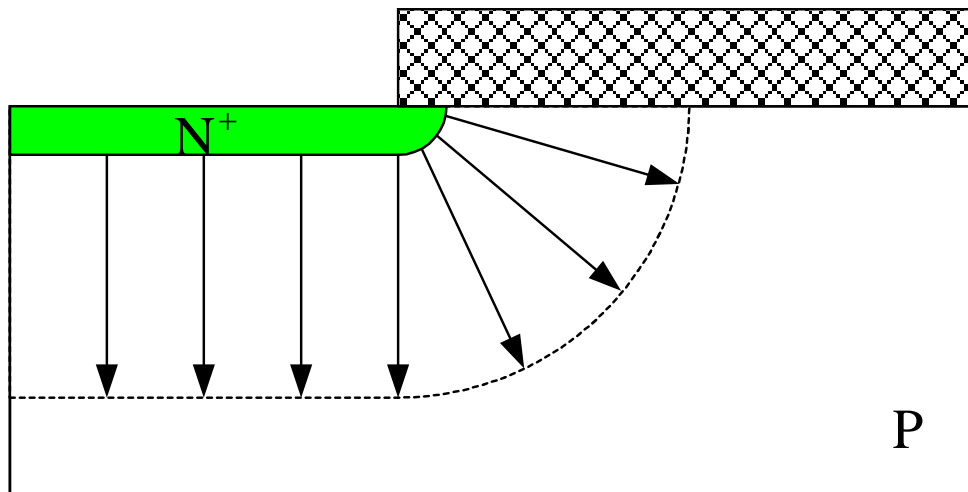
ブレークダウン電圧
 線型傾斜型接合 > 階段型接合 (∵ 拡散側への空乏層拡張)

拡散接合ダイオード

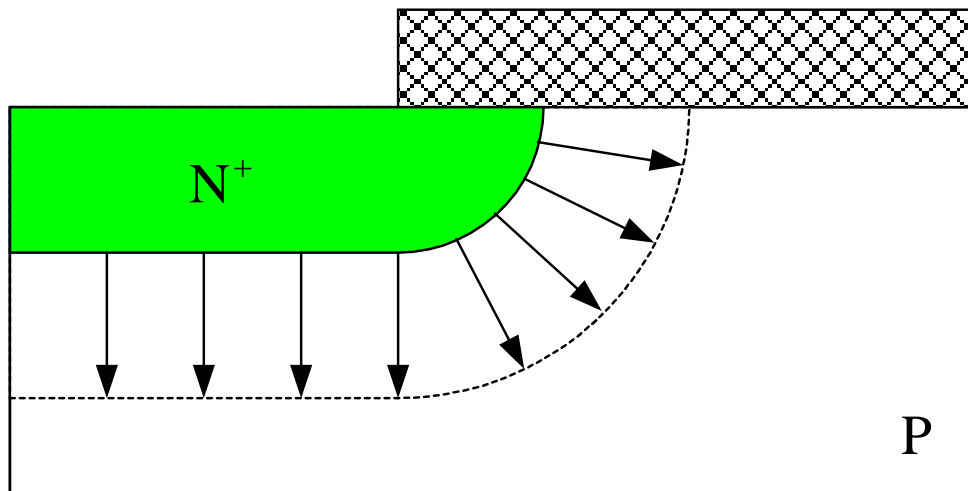


拡散層端に於ける電界集中

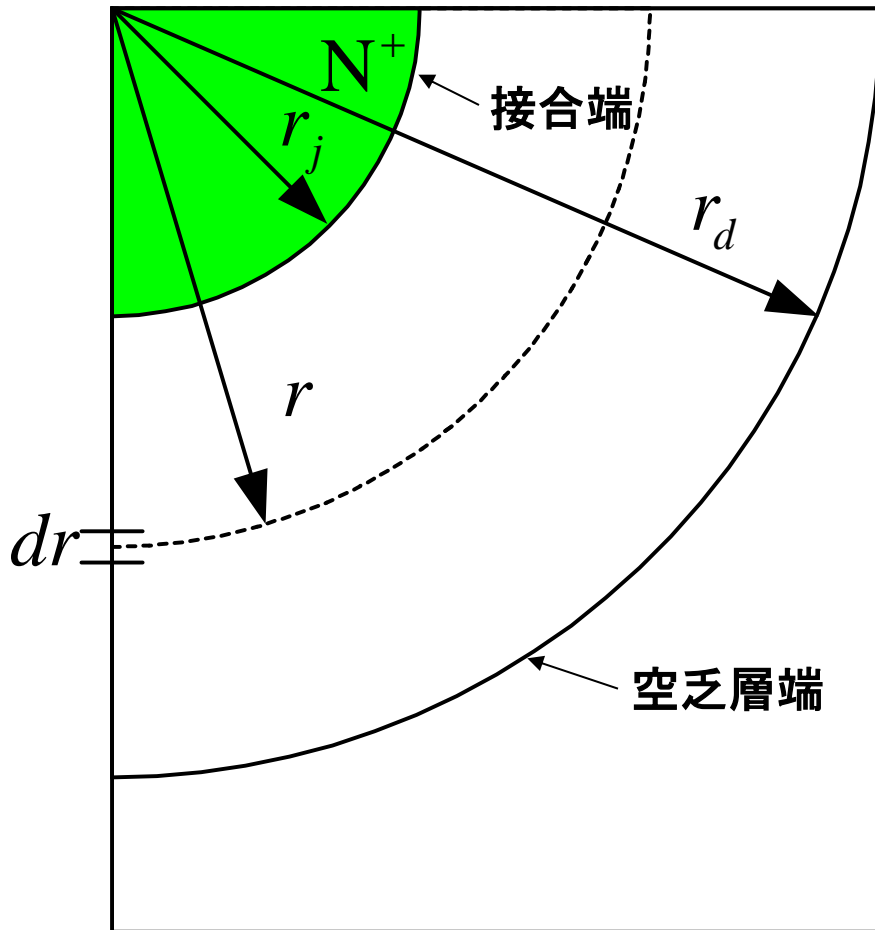
浅い拡散
電界集中 ⇒ 強



深い拡散
電界集中 ⇒ 弱



円柱型接合の断面



円柱座標

$$-\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (rE) = \frac{qN_A}{\epsilon_S}$$

$$\Rightarrow E(r) = \frac{qN_A}{2\epsilon_S} \left(\frac{r_d^2 - r^2}{r} \right)$$

(最大電界: $r \rightarrow r_j$)

P

円柱型接合の電界と電位分布

- 円柱型接合と平行平板型接合の最大電界比

$$\left. \begin{aligned} E_{m,CYL} &= \frac{qN_A}{2\epsilon_S} \frac{r_d^2}{r_j} & (r_d \gg r_j) \\ E_{m,PP} &= \frac{qN_A}{\epsilon_S} r_d \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{E_{m,CYL}}{E_{m,PP}} \approx \frac{r_d}{2r_j}$$

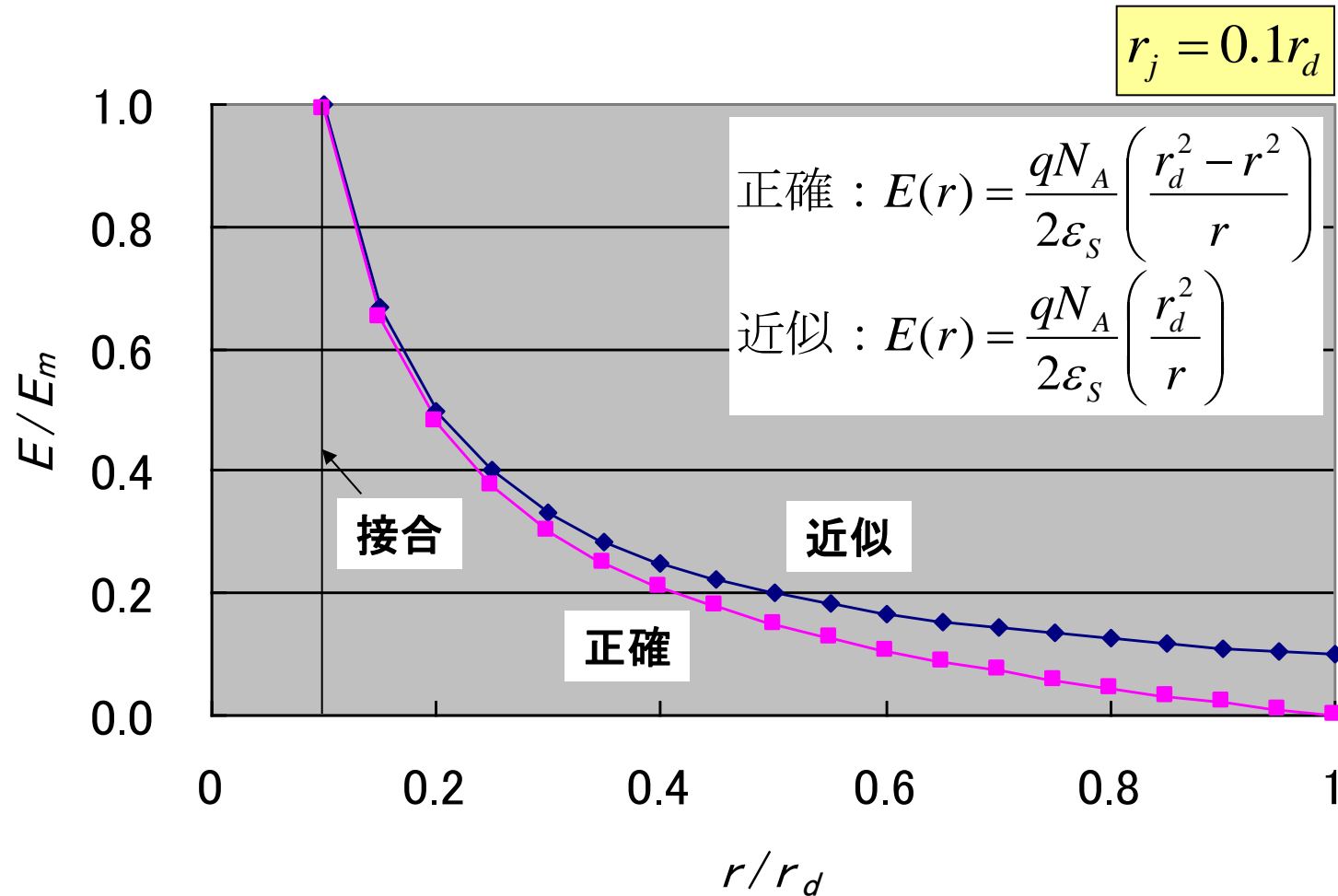
$$r_d \gg r_j \Rightarrow E_{m,CYL} \gg E_{m,PP}$$

- 電位分布

$$V(r) = \frac{qN_A}{2\epsilon_S} \left[\left(\frac{r_j^2 - r^2}{2} \right) + r_d^2 \ln \left(\frac{r}{r_j} \right) \right]$$

$$r \rightarrow r_d, V(r) \rightarrow V_a (\text{印加電圧}) \Rightarrow r_d \text{が求まる}$$

円柱型接合における電界の近似



高電界領域： 近似 ⇒ 正確

円柱型接合の臨界電界

- 近似電界を用いてアバランシェ破壊条件計算

$$\int_{r_j}^{\infty} \alpha dr = 1, \quad \alpha = 1.85 \times 10^{-35} E^7, \quad E \cong \frac{qN_A}{2\varepsilon_s} \left(\frac{r_d^2}{r} \right)$$
$$\Rightarrow K = \frac{qN_A}{2\varepsilon_s} r_d^2 = \left(\frac{6r_j^6}{1.85 \times 10^{-35}} \right)^{1/7}$$

- 臨界電界

$$E_{m,CYL} \Rightarrow E_{c,CYL} = \left(\frac{3.25 \times 10^{35}}{r_j} \right)^{1/7}$$

臨界電界・ブレイクダウン電圧の比較

—円柱型/平行平板型—

- 臨界電界の比

$$\frac{E_{c,CYL}}{E_{c,PP}} = \left(\frac{3W_{c,PP}}{4r_j} \right)^{1/7} \Rightarrow E_{c,CYL} > E_{c,PP}$$

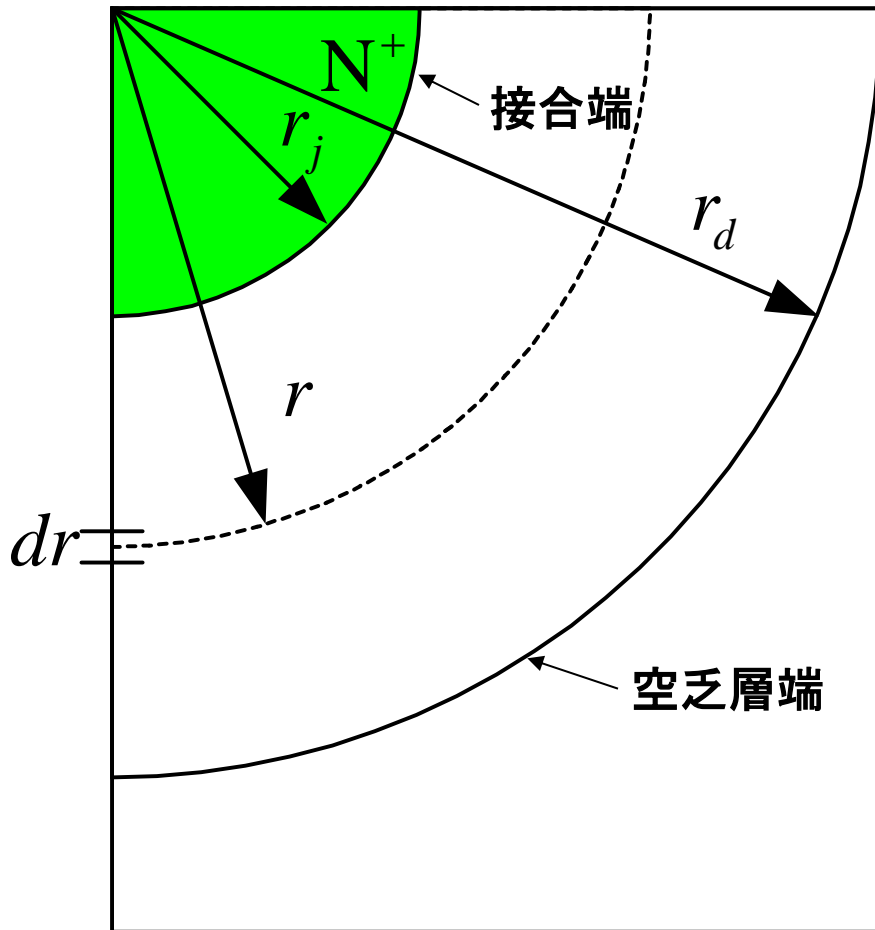
低ドーピング領域のドーピング密度が同じ場合

- ブレイクダウン電圧の比

$$\frac{BV_{CYL}}{BV_{PP}} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{r_j}{W_{c,PP}} \right)^2 + 2 \left(\frac{r_j}{W_{c,PP}} \right)^{6/7} \right] \ln \left[1 + 2 \left(\frac{W_{c,PP}}{r_j} \right)^{8/7} \right] - \left(\frac{r_j}{W_{c,PP}} \right)^{6/7}$$

但し、 $W_{c,PP} \gg r_j$

球型接合の断面



球座標

$$-\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} (r^2 E) = \frac{qN_A}{\epsilon_S}$$
$$\Rightarrow E(r) = \frac{qN_A}{3\epsilon_S} \left(\frac{r_d^3 - r^3}{r^2} \right)$$

(最大電界: $r \rightarrow r_j$)

P

球型接合の電界と電位分布

- 球型接合と円柱型接合の最大電界比

$$\left. \begin{aligned} E_{m,SP} &= \frac{qN_A}{3\epsilon_S} \frac{r_d^3}{r_j^2} & (r_d \gg r_j) \\ E_{m,CYL} &= \frac{qN_A}{2\epsilon_S} \frac{r_d^2}{r_j} & (r_d \gg r_j) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{E_{m,SP}}{E_{m,CYL}} \approx \frac{2}{3} \frac{r_d}{r_j}$$

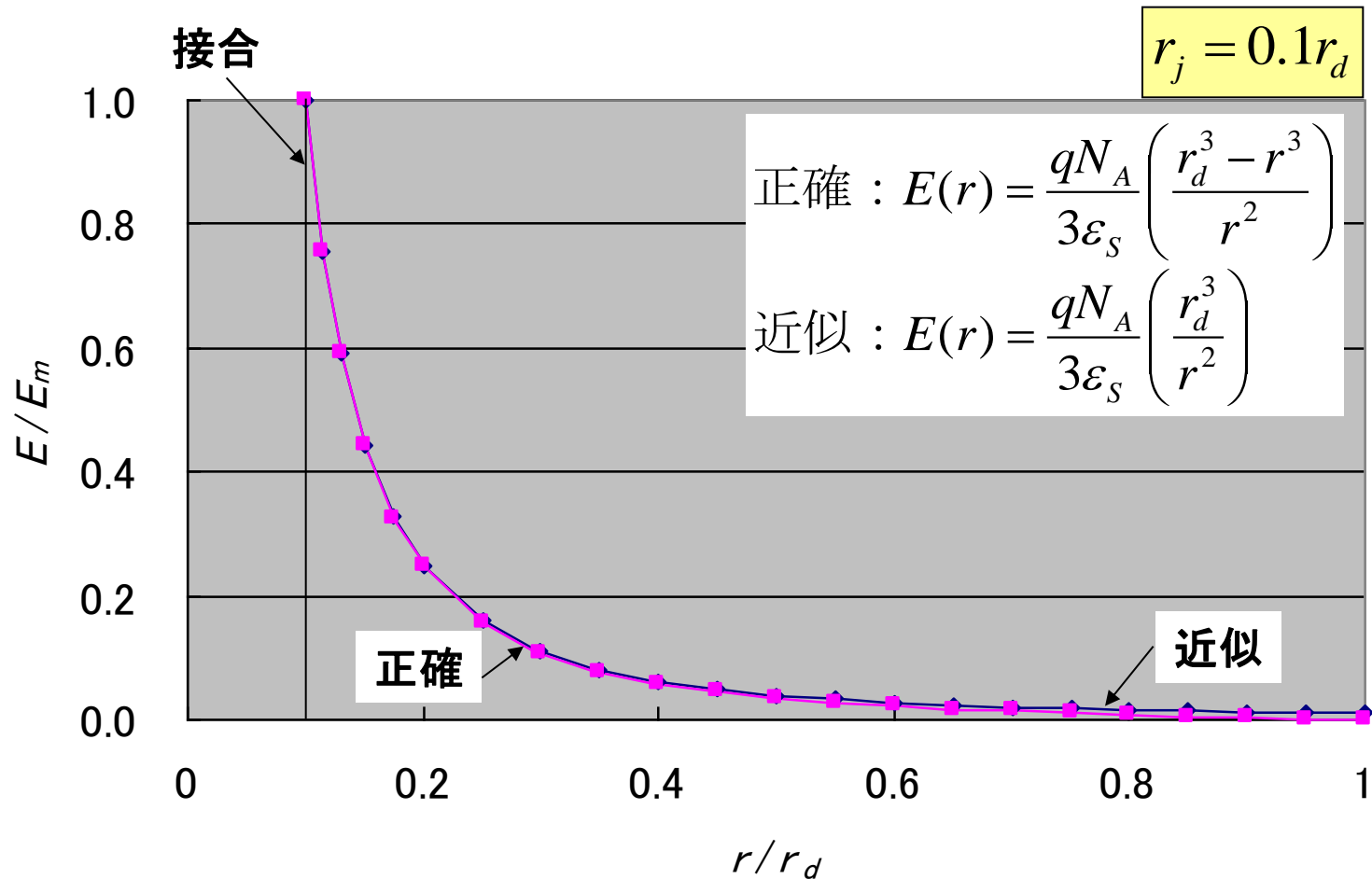
$$r_d \gg r_j \Rightarrow E_{m,SP} \gg E_{m,CYL}$$

- 電位分布

$$V(r) = \frac{qN_A}{3\epsilon_S} \left[\left(\frac{r_j^2 - r^2}{2} \right) + r_d^3 \left(\frac{1}{r_j} - \frac{1}{r} \right) \right]$$

$$r \rightarrow r_d, V(r) \rightarrow V_a (\text{印加電圧}) \Rightarrow r_d \text{が求まる}$$

球型接合における電界の近似



高電界領域： 近似 ⇒ 正確

球型接合の臨界電界

- 近似電界を用いてアバランシェ破壊条件計算

$$\int_{r_j}^{\infty} \alpha dr = 1, \quad \alpha = 1.85 \times 10^{-35} E^7, \quad E \cong \frac{qN_A}{3\varepsilon_s} \left(\frac{r_d^3}{r^2} \right)$$
$$\Rightarrow K_S = \frac{qN_A}{3\varepsilon_s} r_d^3 = \left(\frac{13r_j^{13}}{1.85 \times 10^{-35}} \right)^{1/7}$$

- 臨界電界

$$E_{m,SP} \Rightarrow E_{c,SP} = \left(\frac{7.03 \times 10^{35}}{r_j} \right)^{1/7}$$

臨界電界・ブレイクダウン電圧の比較

— 球型/平行平板型 —

- 臨界電界の比

$$\frac{E_{c,SP}}{E_{c,PP}} = \left(\frac{13W_{c,PP}}{8r_j} \right)^{1/7} \Rightarrow E_{c,SP} > E_{c,PP}$$

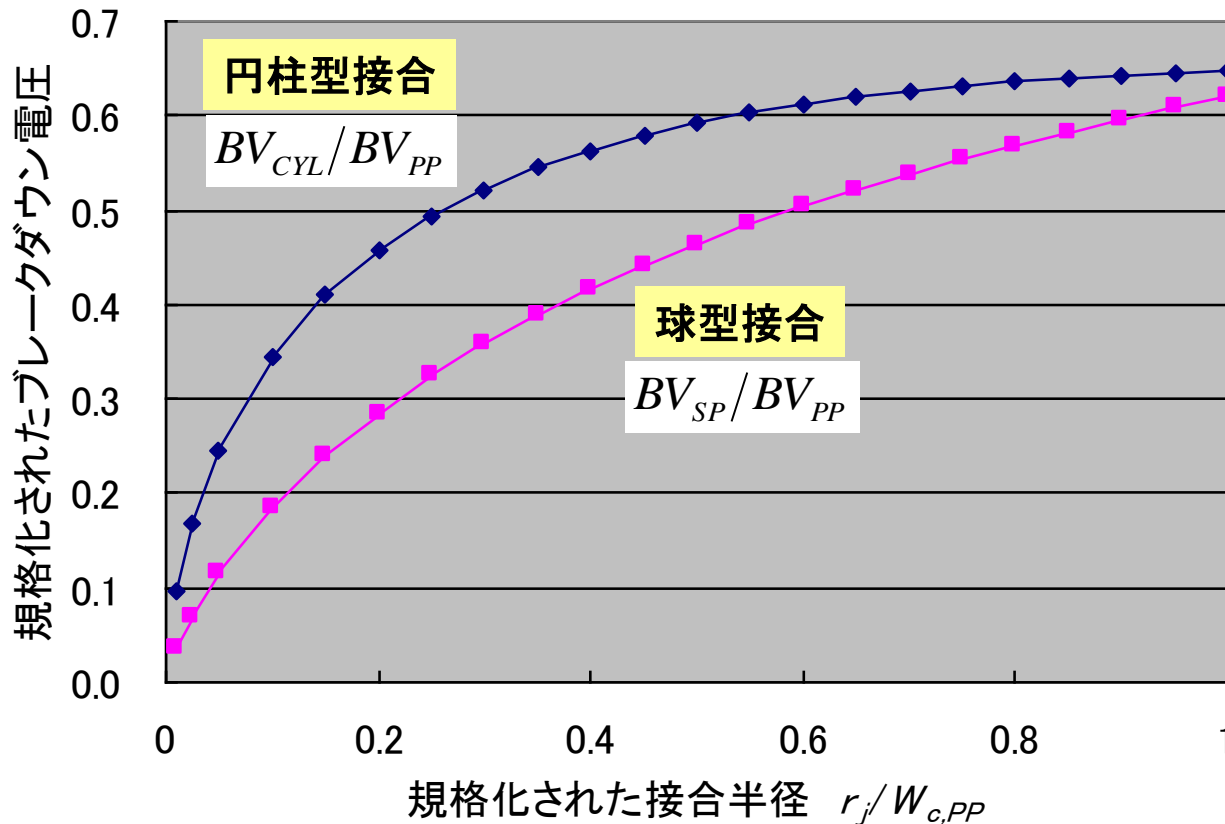
低ドーピング領域のドーピング密度が同じ場合

- ブレイクダウン電圧の比

$$\frac{BV_{SP}}{BV_{PP}} = \left(\frac{r_j}{W_{c,PP}} \right)^2 + 2.14 \left(\frac{r_j}{W_{c,PP}} \right)^{6/7} - \left[\left(\frac{r_j}{W_{c,PP}} \right)^3 + 3 \left(\frac{r_j}{W_{c,PP}} \right)^{13/7} \right]^{2/3}$$

但し、 $W_{c,PP} \gg r_j$

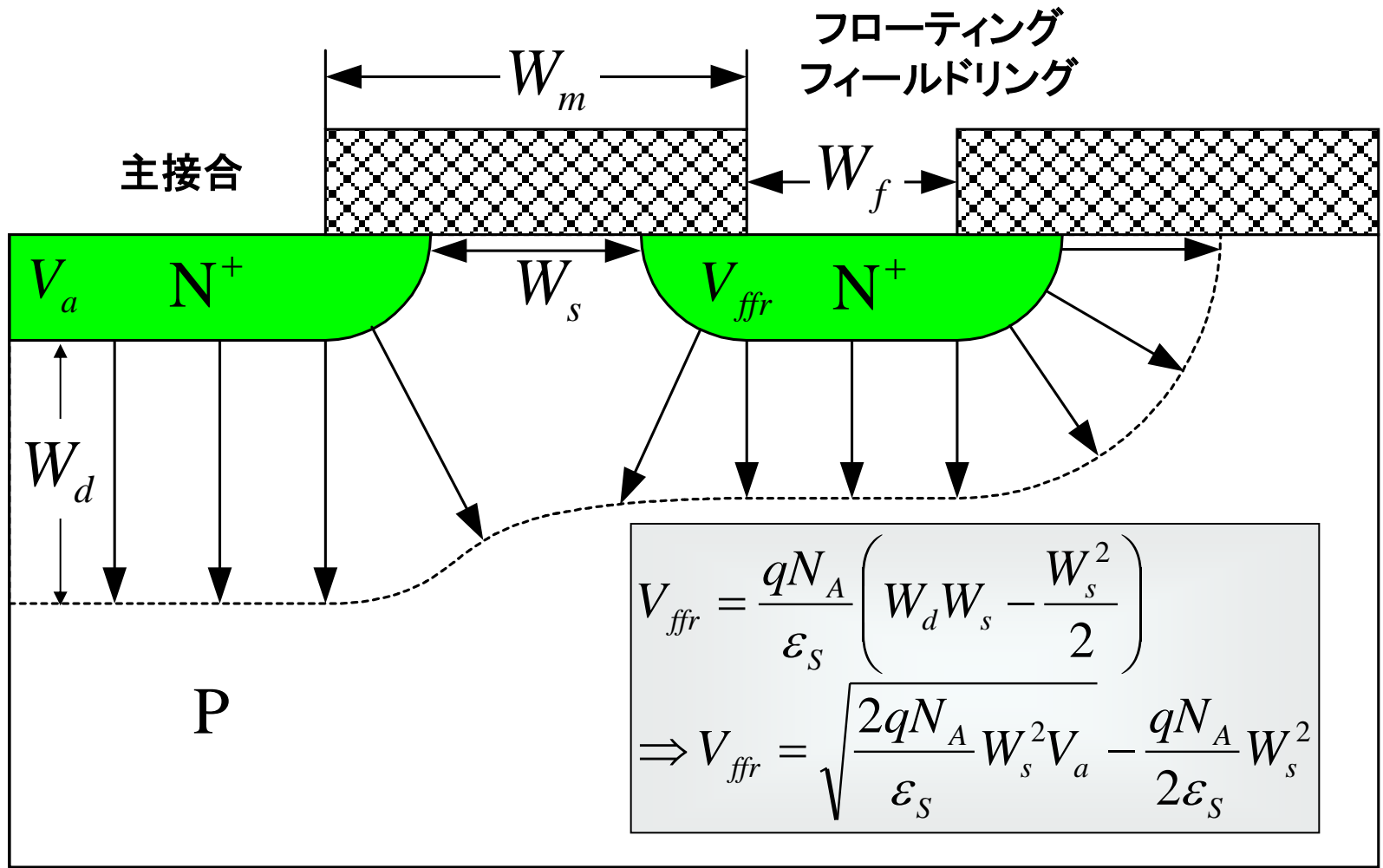
規格化されたブレークダウン電圧 — 円柱型と球型接合 —



ブレークダウン電圧 **円柱型接合 > 球型接合**
 コーナー部での耐圧の増大化 (球型 → 円柱型接合耐圧)
 ⇒ コーナー部の半径: $W_{c,pp}$ の2倍

単一フローティング・フィールド・リング

—フィールドリングの電圧—



仮定: フローティング・フィールド・リング ⇒ 空乏層広がり乱さない

単一フローティング・フィールド・リング ー最適配置時のブレークダウン電圧ー

• 仮定

- フローティング・フィールド・リング (FFR) 端の電界: 円柱型接合の電界
- ブレークダウン時: FFR端の電界 = 主接合端の電界 (円柱型接合臨界電界)
- 主接合の電界: 主接合とFFRの電位差から決定

• ブレークダウン時のFFRの電圧 V_F

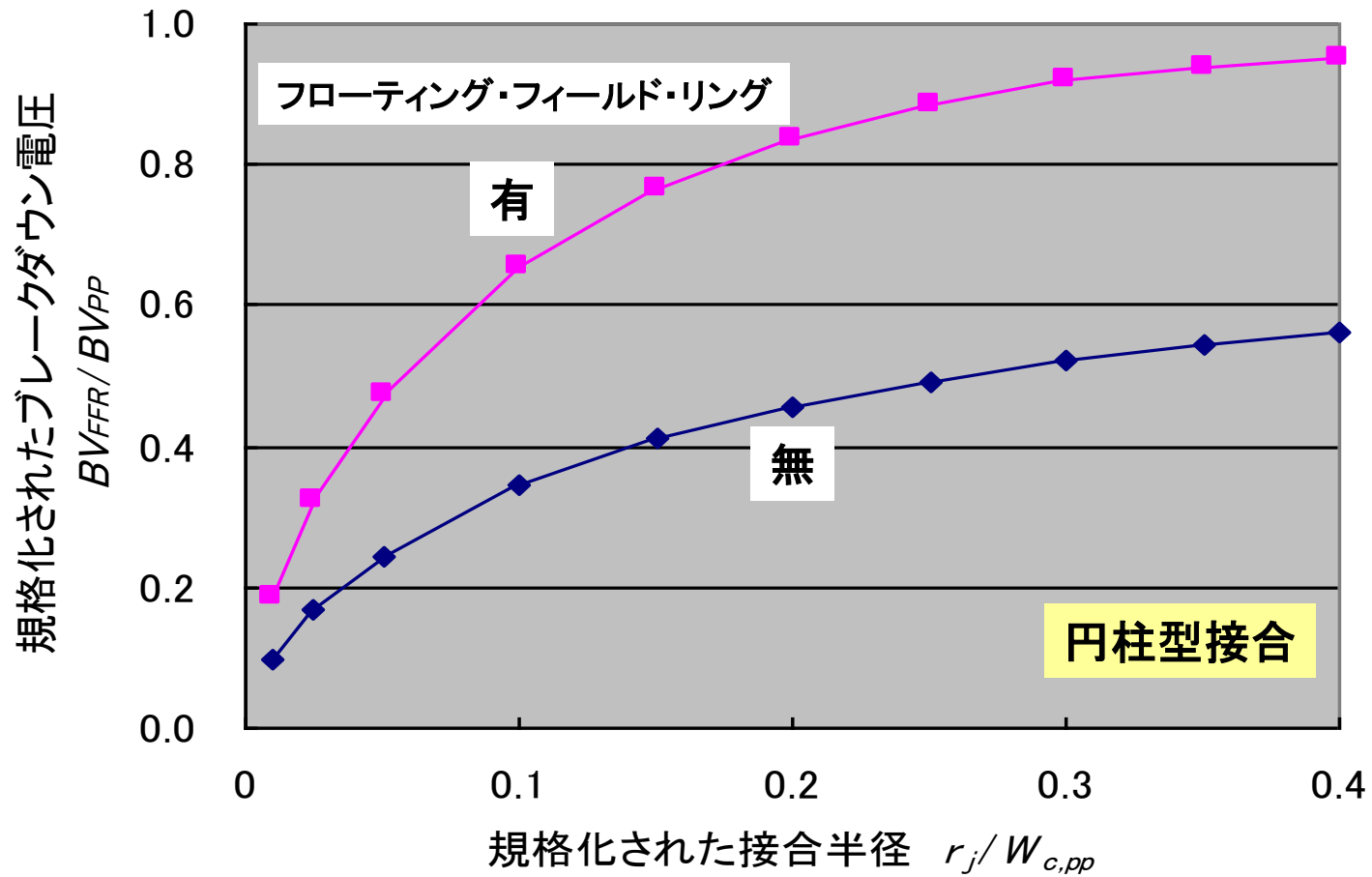
$$V_F / BV_{PP} = BV_{CYL} / BV_{PP}$$

• ブレークダウン時の主接合とFFRとの間の電位差

$$\frac{BV_{FFR} - V_F}{BV_{PP}} = \frac{1}{2} \left(\frac{r_j}{W_{c,PP}} \right)^2 - 0.96 \left(\frac{r_j}{W_{c,PP}} \right)^{6/7} + 1.92 \left(\frac{r_j}{W_{c,PP}} \right)^{6/7} \ln \left[1.386 \left(\frac{W_{c,PP}}{r_j} \right)^{4/7} \right]$$

BV_{FFR} : ブレークダウン時の主接合の電圧

単一フローティング・フィールド・リング ーリングの有無によるブレークダウン電圧の比較ー



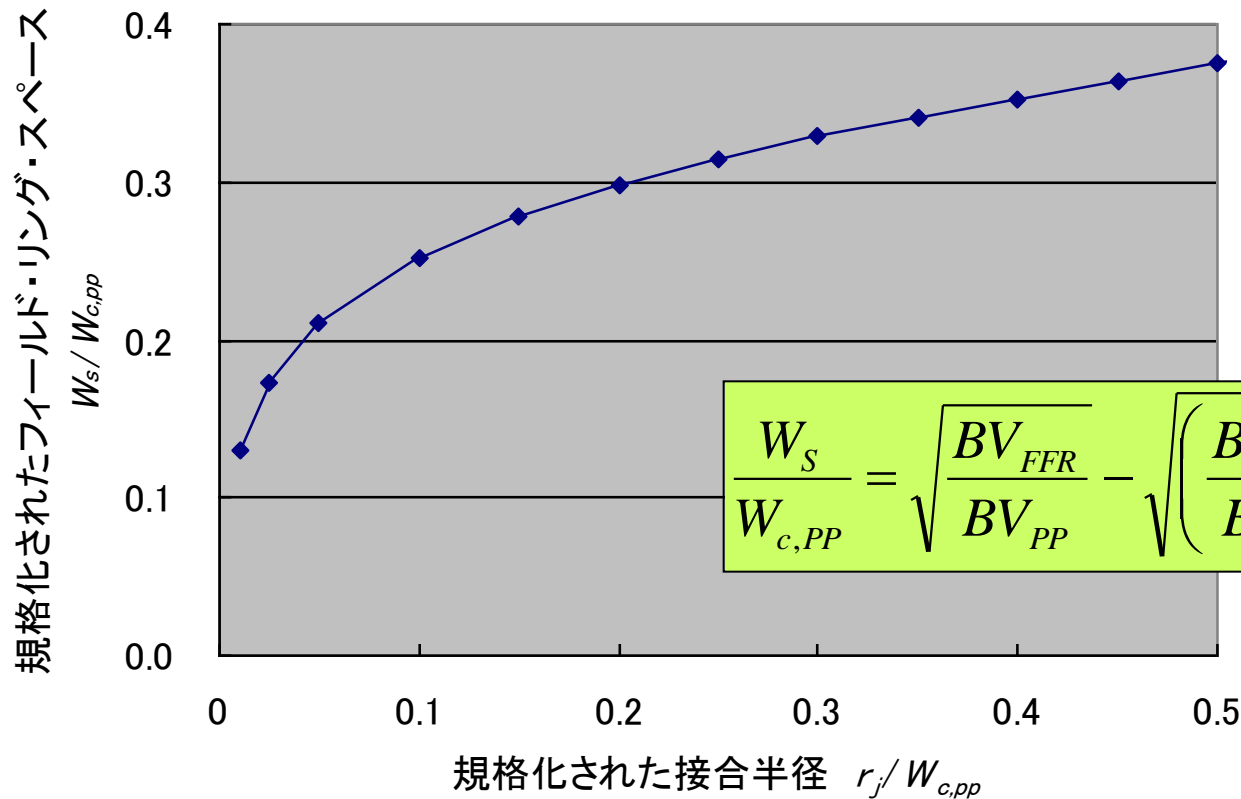
単一フローティング・フィールド・リング(有 / 無) ⇒ ブレークダウン電圧約2倍上昇

単一フローティング・フィールド・リング ー最適フィールド・リング・スペースー

W_S 大 : 円柱型接合(リング無)と同等 $\Rightarrow BV_{FFR}$ の低下
 W_S 小 : リングの電位は主接合と同等 $\Rightarrow BV_{FFR}$ の低下



W_S に最適値有



W_S 最適条件

$$V_{ffr} = V_F = BV_{CYL}$$

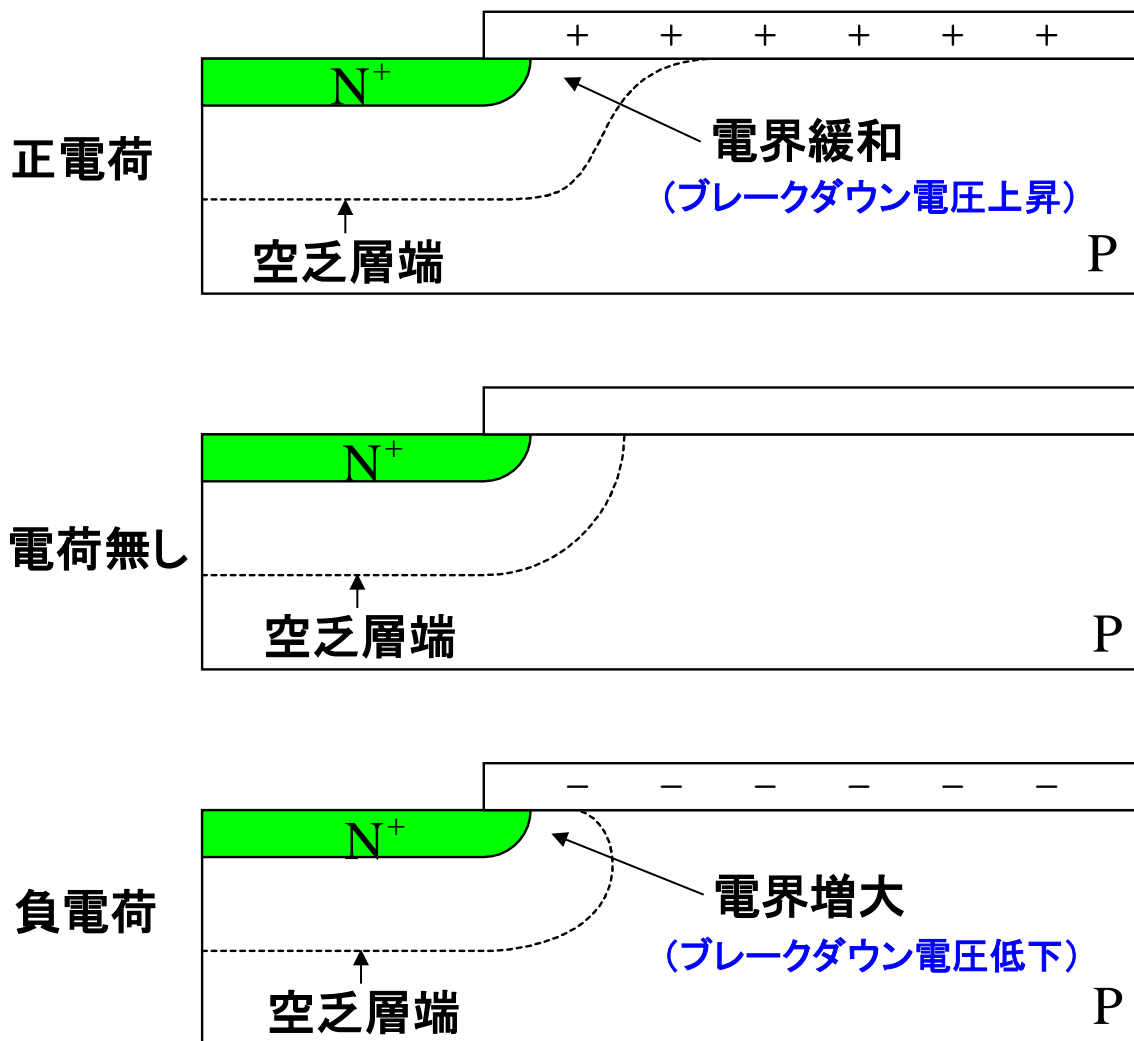
$$V_a = BV_{FFR}$$

$$\frac{W_S}{W_{c,PP}} = \sqrt{\frac{BV_{FFR}}{BV_{PP}}} - \sqrt{\left(\frac{BV_{FFR}}{BV_{PP}}\right) - \left(\frac{BV_{CYL}}{BV_{PP}}\right)}$$

実際にはプレーナ接合の横方向拡散を考慮する必要有

円柱型接合端での空乏層広がり

— 界面電荷の影響 —

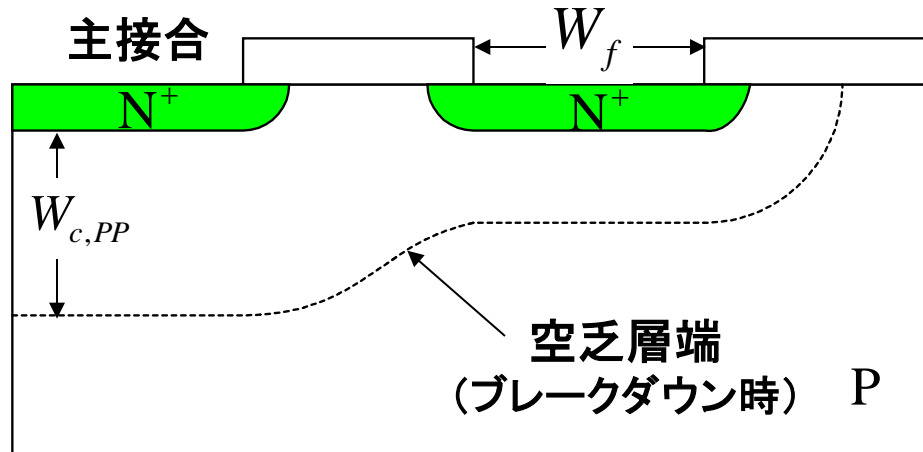


単一FFRの場合
(正の界面電荷)
⇒リーチスルー電圧低下
↓
FFRのスペース拡張
(界面電荷を考慮して
最適なWSを決定)
⇒界面電荷のばらつき
↓
実用面での限界
⇒マルチFFR必要

単一フローティング・フィールド・リング

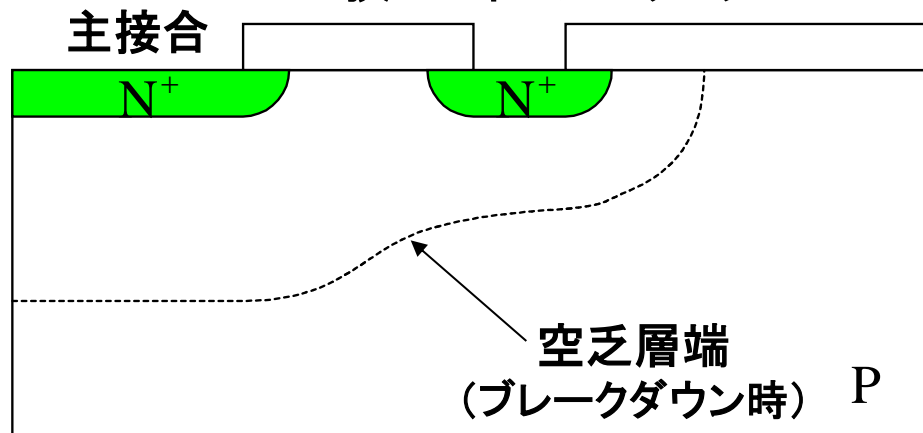
—フィールドリング幅の空乏層広がりへの影響—

広いフィールドリング



有効なフィールドリング幅
 $W_f \doteq W_{c,PP}$
($W_{c,PP}$ 以上は必要なし)

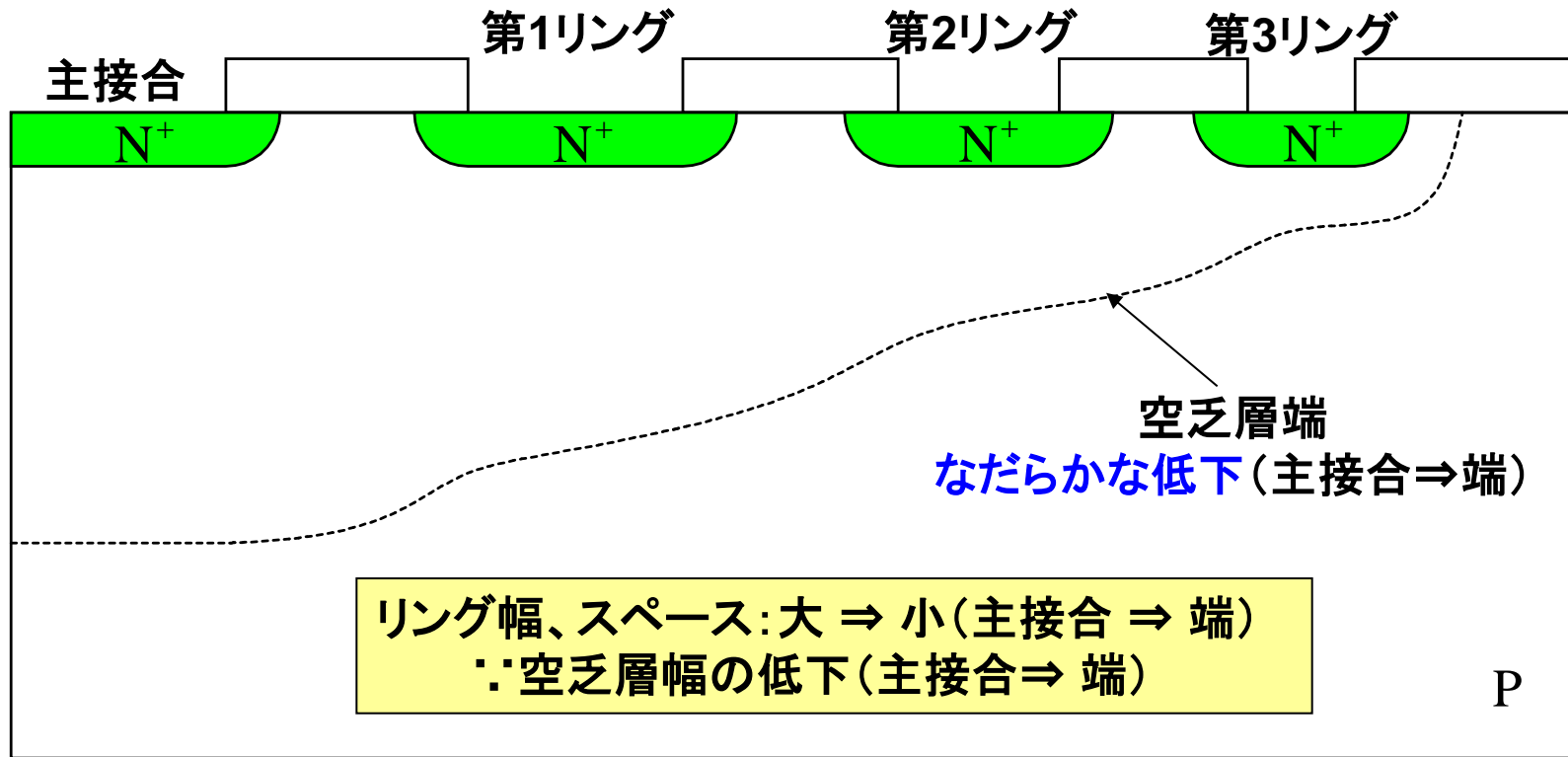
狭いフィールドリング



フィールドリングの効果低減
∵空乏層曲率の低下
(W_s 最適下でも)

マルチプル・フィールド・リング

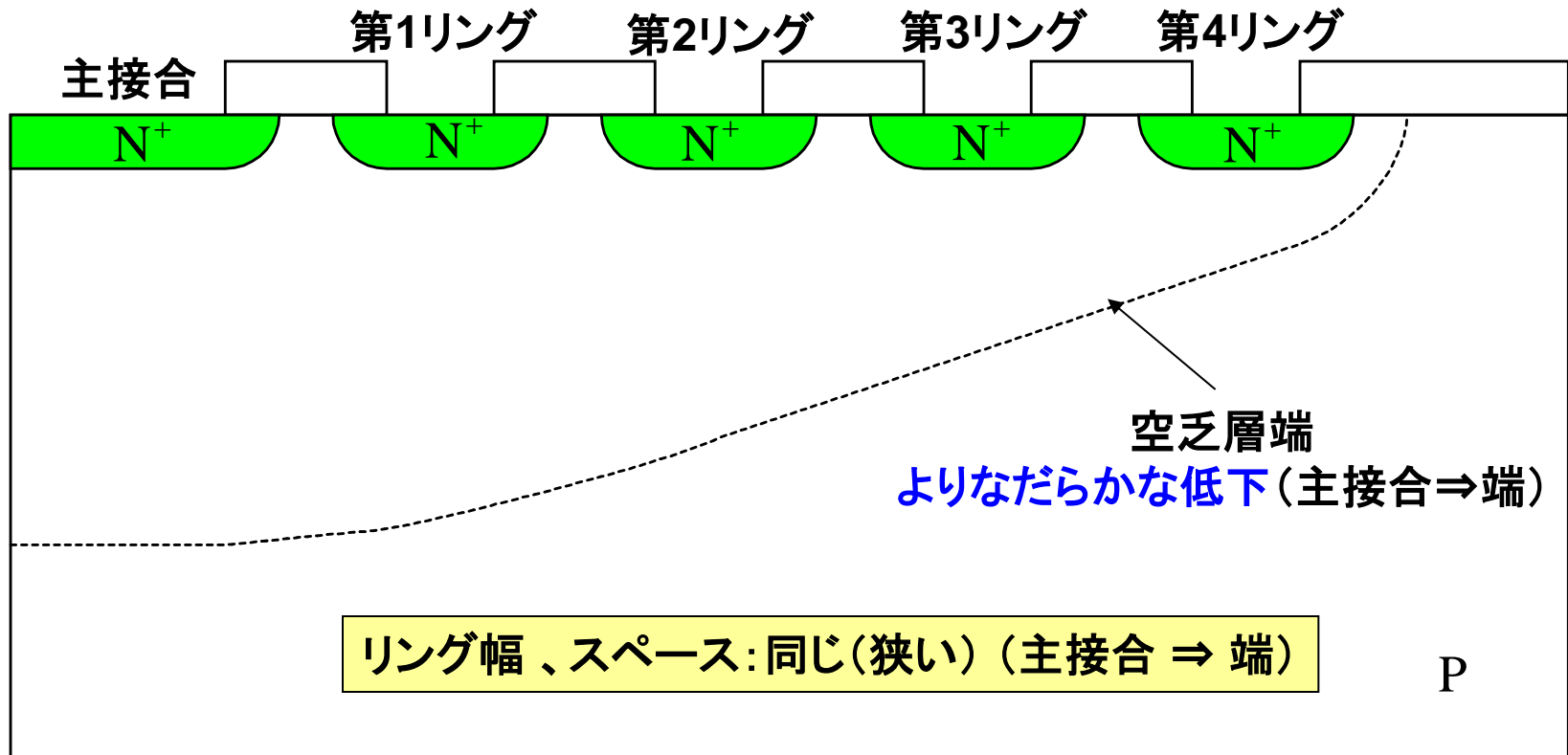
ーリング幅/スペース変化(方式1)ー



本方式 ⇒ 全てのフローティングリング端で同時にブレークダウン発生
(界面電荷を考慮する必要有)
ブレークダウン電圧は平行平板接合型の耐圧に接近(リング数増加)

マルチプル・フィールド・リング(2)

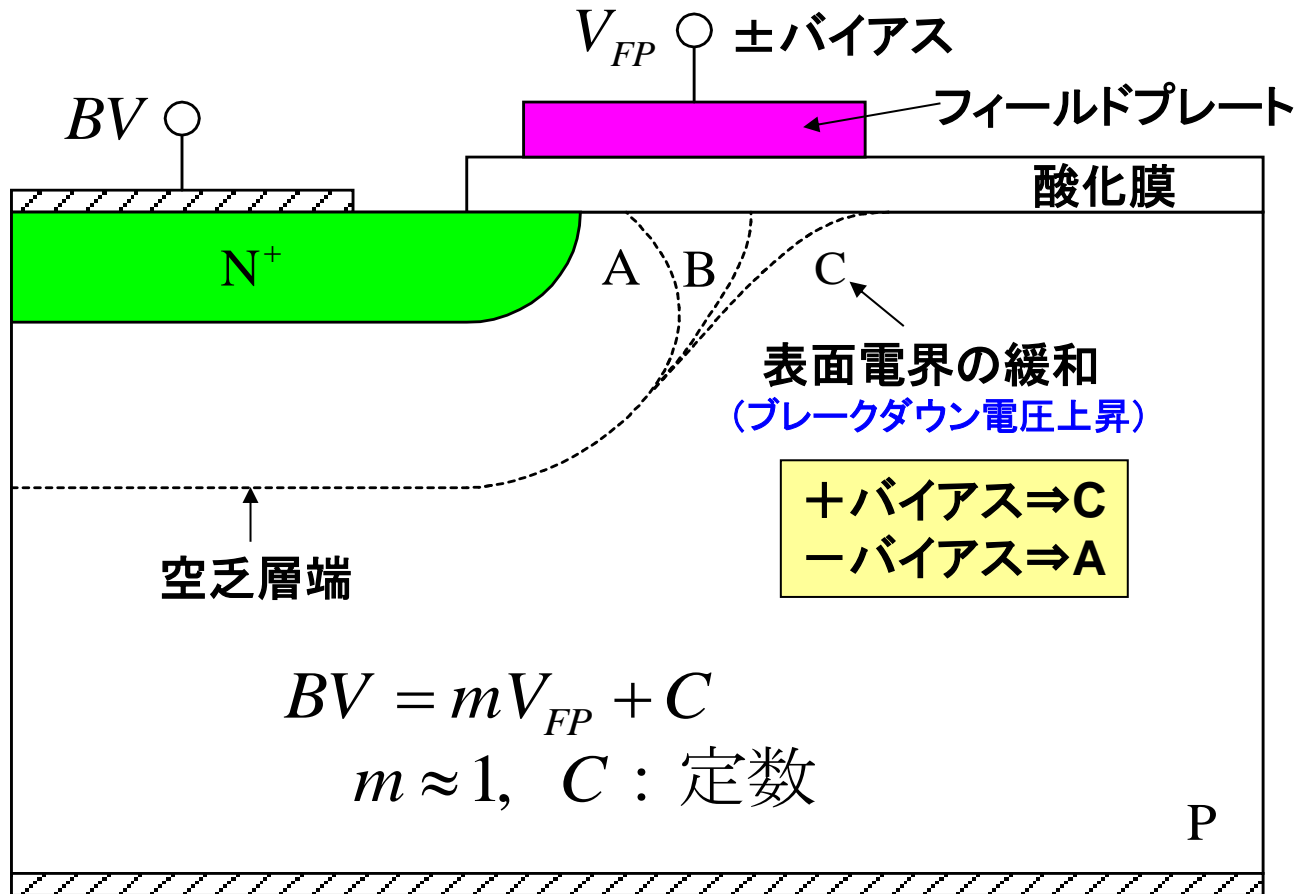
ーリング幅/スペース同じ(方式2)ー



本方式 ⇒ 界面電荷の変化の影響を低減(方式1との比較)
(∵リングの数が多いため)

ブレークダウン電圧は平行平板接合型の耐圧に接近(リング数増加)

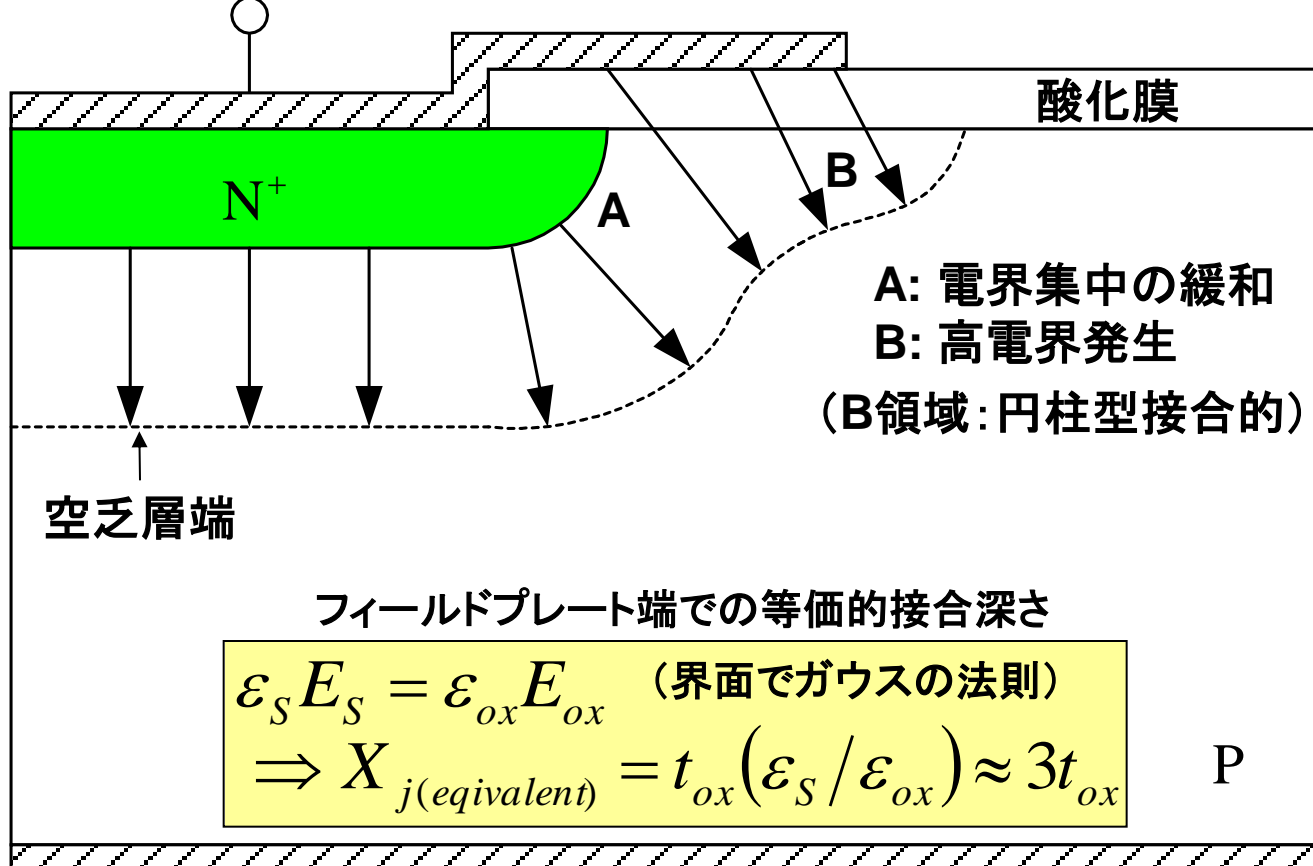
フィールドプレートの効果



V_{FP} 大: $BV \Rightarrow$ 平行平板型接合の耐圧に接近

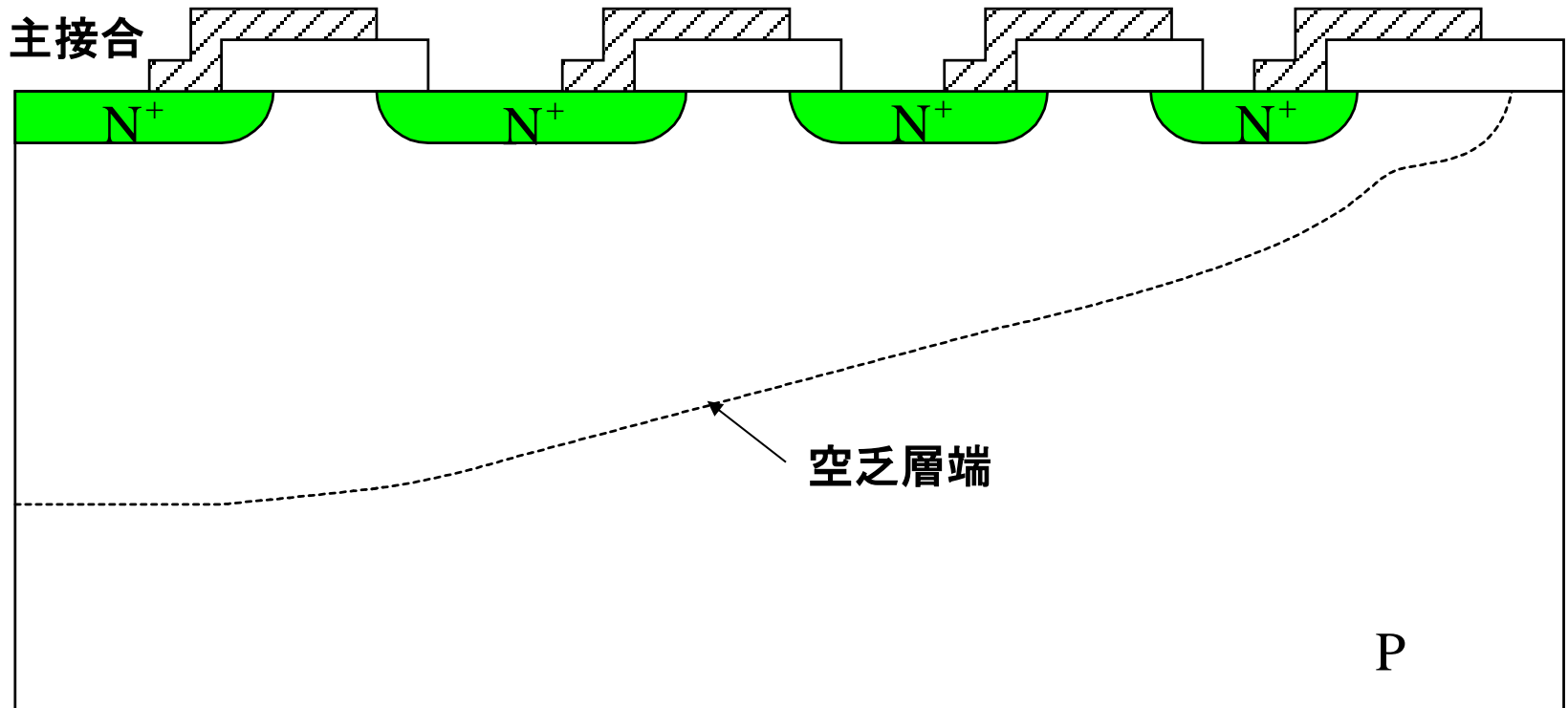
フィールドプレートを持つプレーナ接合 — 実用レベル —

空乏層中の電位差 ≫ 酸化膜中電位差



t_{ox} : 大 \Rightarrow フィールドプレート端(B)での電界緩和
(フィールドプレートのシャープコーナー回避 ∴ 円柱型接合 \Rightarrow 球型接合)

フィールドプレートとフィールドリングの組合せ



- ・各フィールドリング: 電界集中の緩和
- ・各フィールドプレート: 界面電荷の抑制(ブレーク電圧の安定性増大)