

不純物濃度から抵抗率を計算する

2016/10/11

(有)たかもり 高橋誓

今村さまによる測定結果

	Poly 10kΩ	N-well 100kΩ	N-well 500kΩ (900kΩ)
2015 年度	11kΩ	4.2kΩ	45kΩ
2016 年度	17kΩ	5.0kΩ	50kΩ

(*)poly 抵抗が 1.7 倍になり、こちらでは若干問題発生

北九州プロセスの P-SUB 基板はその抵抗率が

$\rho = 10 \sim 15 \Omega \text{cm}$

抵抗率から不純物濃度を計算してくれる便利なページを発見

<http://www.solecon.com/sra/rho2ccal.htm>

これより

$10 \Omega \text{cm} \Rightarrow 1.32 \times 10^{15} / \text{cm}^3$ (P 型)

$15 \Omega \text{cm} \Rightarrow 8.76 \times 10^{14} / \text{cm}^3$ (P 型)

シート抵抗は接合深さ $X_j = 1.5 \times 10^{-7} \text{m}$ の場合

$R(\text{P-sub}) \square = 8.76 \times 10^{15} \times 10^{-4} / (10^{-4} \times 1.5 \times 10^{-5}) = 5.84 \times 10^{20} \Omega \square$

さすがにほぼ絶縁状態。

---おまけ---

チップの厚さを 200u と仮定すると 3.2mm 角のチップの両面間の抵抗は

$R = 15 \times 2 \times 10^{-2} / (0.32^2) = 2.93 \Omega$

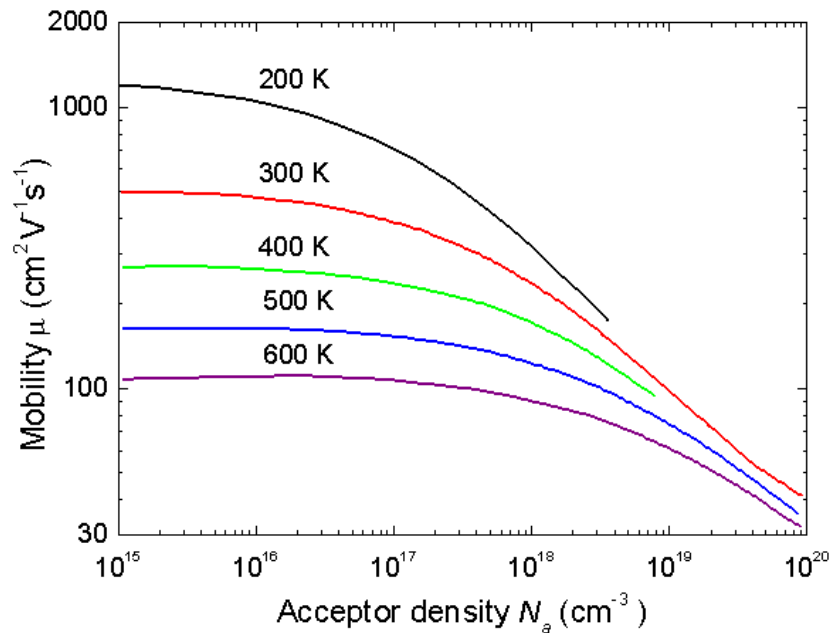
一方裏面に GND を設けない場合、チップの大きさを無限大として 1000u 離れた 10u の p-sub コンタクト 2 点間の抵抗値は

$$R = \frac{15}{0.02 \pi} \ln 100 = 1100 \Omega$$

となるらしい。やはり基板裏面に銀ペーストなどで接着する方が正しいやり方の様に思われる。

不純物濃度(P)と移動度の関係も発見

<http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/Si/Figs/137.gif>

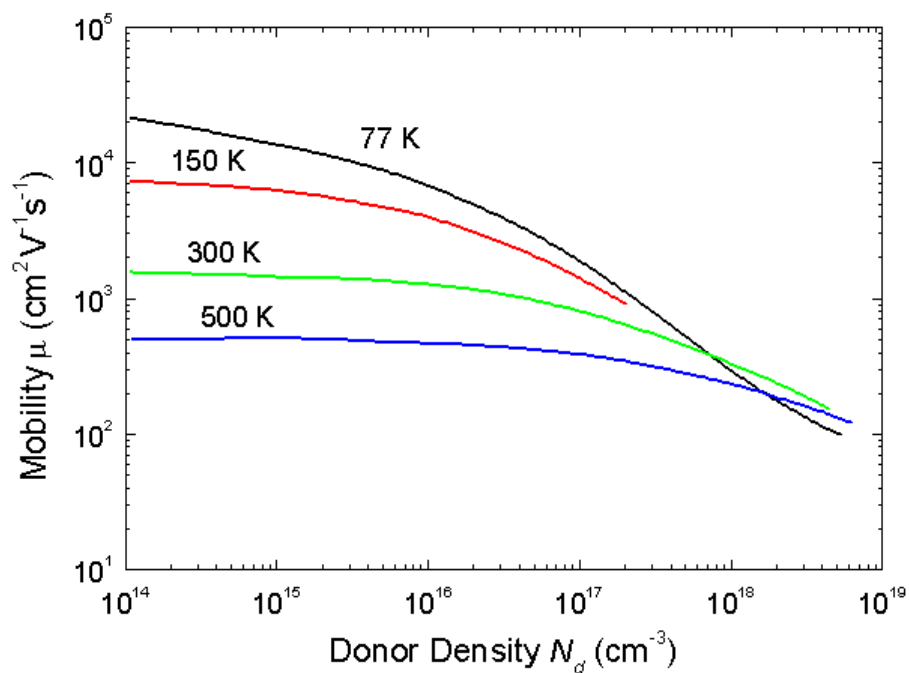


これによると移動度 $\mu=500 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ @ $N_a 10^{15} \sim 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 300K

ちなみにN型の場合は以下のグラフになるみたいです。

<http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/Si/Figs/132.gif>

移動度 $\mu(N)=1.5 \times 10^3 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ @ $< 10^{16} \text{ cm}^{-3}$



これらの結果を踏まえて次の仮定をします。

1) P-Well N-Well は少なくとも P-sub の濃度の 10 倍以上は必要である。

仮に $1e17 \text{ cm}^{-3}$ とします。この場合、先ほどの便利な変換を使うと

$$\rho = 8.41e-2 \Omega \cdot \text{cm}$$

接合の深さ $X_j = 1.5E-7 \text{ m} = 1.5E-5 \text{ cm}$ を用いてシート抵抗を出すと

$$R_{\square} = 8.41E-2 * 1E-4 / (1E-4 * 1.5E-5) = 5.61 * E3 = 5.61 \text{ k}\Omega_{\square}$$

今一步中途半端な結果。

2) 測定の結果より

実測した測定値からシート抵抗を求める。

	21.7k Ω_{\square}	実測値	5.61k Ω_{\square} ($N_d = 1e17 \text{ cm}^{-3}$)
① 100k Ω L/W=104/22	102.6k	5.1k	26.52k
② 900k Ω L/W=332/8	900.6k	46.0k	232.8k
②/①	8.78	9.02	8.78

設計値と実測値の間には約 20 倍の開きがある。これからシート抵抗を逆算すると

$$R_{\square} = 21.7\text{k} / 20 = 1.085 \text{ k}\Omega_{\square}$$

3) 逆に n-well 抵抗のシート抵抗が正しいとした場合。

$$\rho_{\square} = 21.7 \text{ k}\Omega_{\square} \text{ から } \rho = 3.25E-1 \Omega \cdot \text{cm}$$

$$\rho_{\square} = 1.085 \text{ k}\Omega_{\square} \text{ から } \rho = 1.63E-2 \Omega \cdot \text{cm}$$

<http://www.solecon.com/sra/rho2ccal.htm> このページから

$$15 \Omega \text{ cm} \quad N_a = 8.76e14 \text{ cm}^{-3} \text{ (P 型)}$$

$$21.7 \text{ k}\Omega_{\square} \quad N_d = 1.70e16 \text{ cm}^{-3} \text{ (N-Well)}$$

$$1.085 \text{ k}\Omega_{\square} \quad N_d = 1.80e18 \text{ cm}^{-3} \text{ (N-Well 実測)}$$

当然の結果ですが、 $X_j = 1.5E-7 \text{ m}$ を用いて計算したら、シート抵抗の差が出るには N-Well の濃度の差が 2 桁近くあることがわかりました。

おまけ

n+抵抗、p+抵抗の不純物濃度

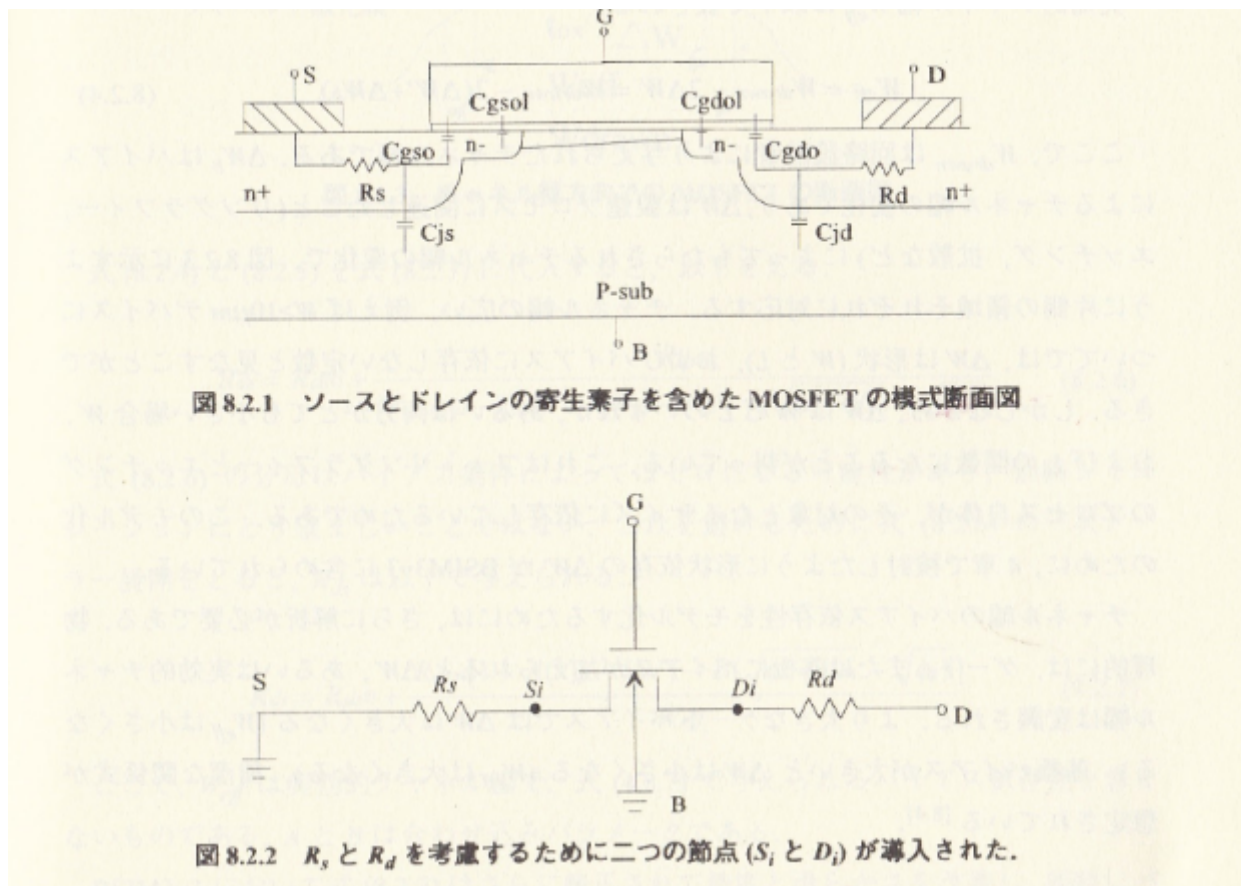
n+抵抗のシート抵抗は話を単純にするために深さを $XJ = 1.5E-7m$ とします。

$$R_{n+} = 81\Omega \quad \rho_{n+} = 81 \cdot 1.5E-5 = 1.215E-3 \Omega cm \quad N_d = 5.82e19 \text{ cm}^{-3}$$

p+抵抗も同様に計算します。

$$R_{p+} = 135\Omega \quad \rho_{p+} = 135 \cdot 1.5E-5 = 2.025E-3 \Omega cm \quad N_a = 5.65e19 \text{ cm}^{-3}$$

2 SPICE モデルから考える



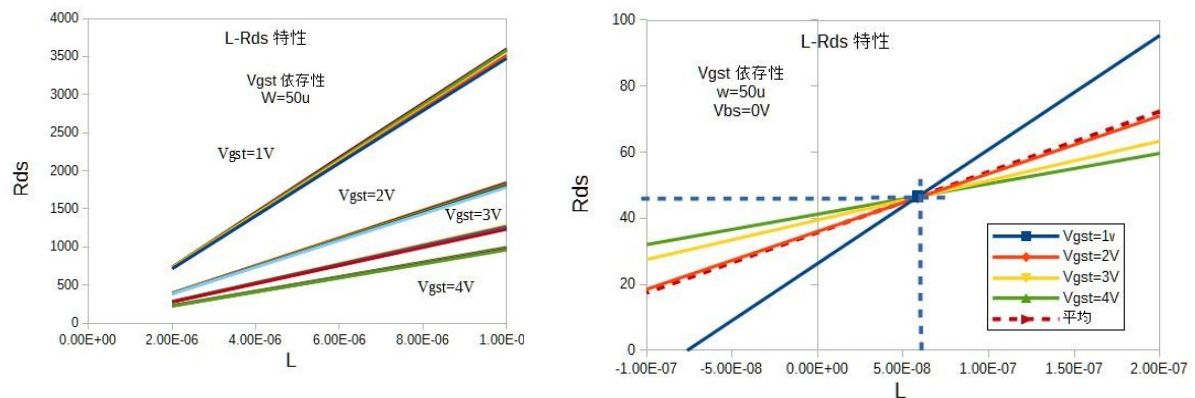
SPICE では内部抵抗 R_{DSW} を扱えるが、原理的にはソース端子からゲートのソース側の端までの抵抗を R_s 、ドレイン側の抵抗を R_d と考えている。しかし、このままでは内部ノードが発生し計算時間がかかるため、Bsim3 からはこれら2つの抵抗を合わせて R_{ds} として扱い、内部ノードが増えない形で計算している。

ここで考えなければいけないのは、単位ゲート幅辺りの抵抗値 RDSW は北九州プロセスでは $2.33\text{E}3\Omega$ である。レイアウトパタン上からソースコンタクト中心からゲート端までの距離は $0.4\mu\text{m}$ 、両側で $0.8\mu\text{m}$ である。

ソースードレイン間の抵抗は次式で表される。

$$R_{tot} = \frac{L}{\mu_{eff} C_{ox} W (V_{gst} - V_{ds}/2)} + \frac{R_{dsw} (1 + P_{rwg} V_{gst} + P_{rwb} (\sqrt{\Phi_s - V_{bseff}}) - \sqrt{\Phi_s})}{(10^6 W_{eff})^{W_r}}$$

実際シミュレーションで L を振ってみると



$L=0$ (実際には L の加工精度によるずれが入っている)の点で抵抗があることがわかる。

$L=0$ ということは、ゲートがなくソースとドレインがつながった抵抗ということになる。

この状態でシート抵抗を求めると $R_{\square}=2.9\text{k}\Omega$ となる。

もし、これが本当に抵抗として使えるのなら Tr のゲートとソース／ドレインの距離を変えると RDSW が変わってしまうという事態が発生する。

この部分の工程は P-Well \Rightarrow N-Select \Rightarrow Vth_N である。

以上