

筑波大学数理物質科学研究科 物理学専攻
エレクトロニクス・データ処理 レポート課題

2016 年前期 新井 康夫 (yasuo.arai@kek.jp)

提出場所：自然系学系棟B棟221理学系事務室前レポートボックス

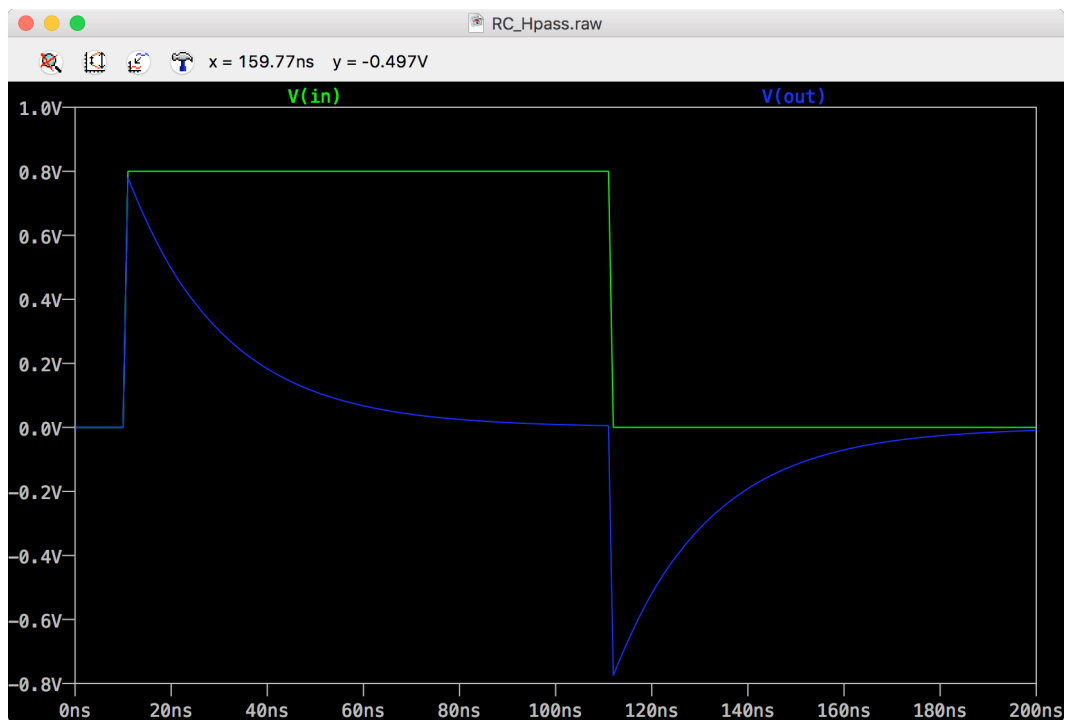
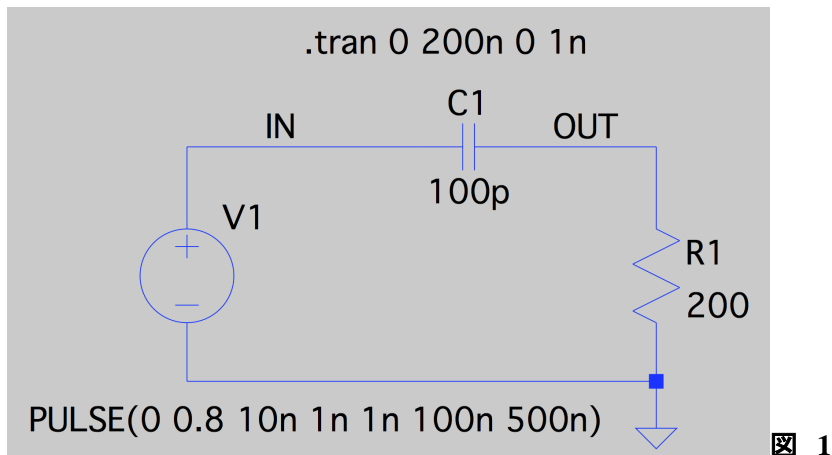
提出期限：2016 年 8 月 12 日（金）16:00

(期限後、回答例を <http://research.kek.jp/people/arai/16lecture/> に載せます。)

I. SPICE プログラムを使って下記の課題を行え。

SPICE を持っていない方は、LTspice IV (<http://www.linear.com/designtools/software/#LTspice>, Mac & Windows) 等の無料ソフトを用いて行って下さい。どうしても SPICE を行える環境が作れない方は II の問題を解いて下さい。III. は共通です。

(a) 図 1 の回路に対して過渡解析シミュレーションを行い、IN と OUT の波形を示せ。



(b) 図2の回路に対して直流解析及び過渡解析シミュレーションを行いINとOUTのグラフを示せ。

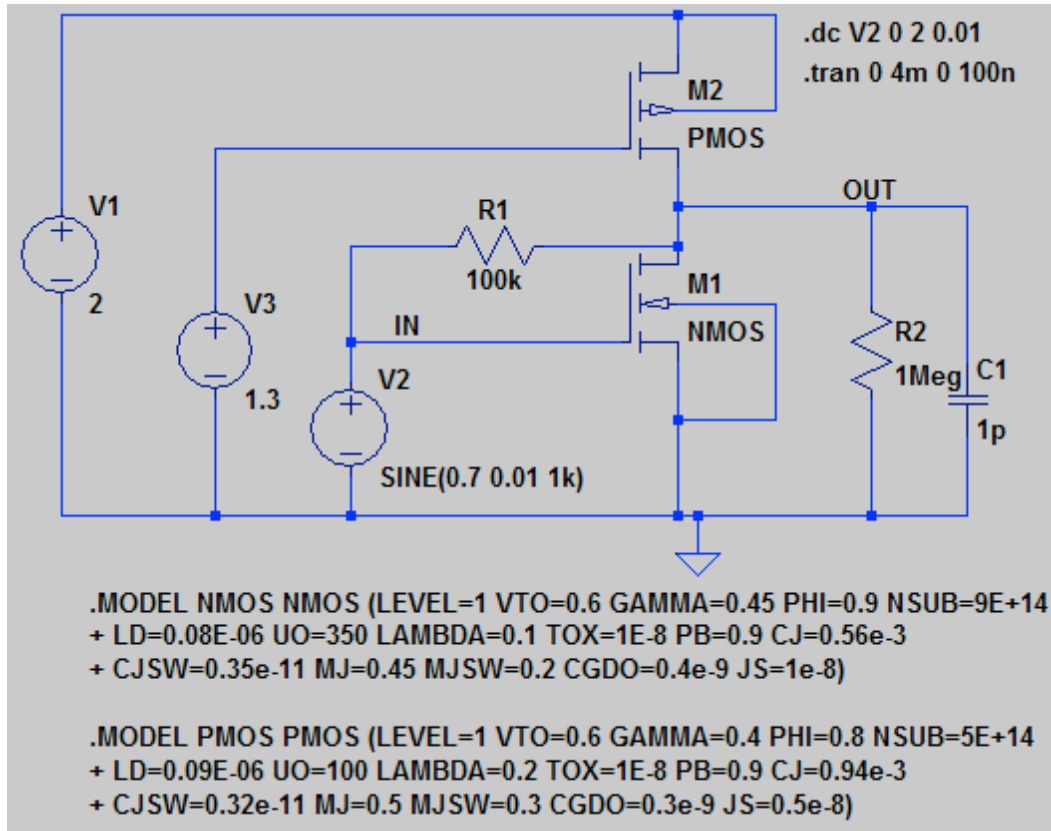


図 2

「参考」

```

.dc V2 0 2 0.01
.tran 0 4m 0 100n

```

```

M1 OUT IN 0 0 NMOS l=0.5 w=600
M2 N001 N002 OUT N001 PMOS l=2 w=50

```

```

C1 OUT 0 1p
R1 IN OUT 100k
R2 OUT 0 1Meg

```

```

V1 N001 0 2
V2 IN 0 SINE(0.7 0.01 1k)
V3 N002 0 1.3

```

```

.MODEL NMOS NMOS (LEVEL=1 VTO=0.6 GAMMA=0.45 PHI=0.9 NSUB=9E+14
+ LD=0.08E-06 UO=350 LAMBDA=0.1 TOX=1E-8 PB=0.9 CJ=0.56e-3
+ CJSW=0.35e-11 MJ=0.45 MJSW=0.2 CGDO=0.4e-9 JS=1e-8)

```

```

.MODEL PMOS PMOS (LEVEL=1 VTO=0.6 GAMMA=0.4 PHI=0.8 NSUB=5E+14
+ LD=0.09E-06 UO=100 LAMBDA=0.2 TOX=1E-8 PB=0.9 CJ=0.94e-3
+ CJSW=0.32e-11 MJ=0.5 MJSW=0.3 CGDO=0.3e-9 JS=0.5e-8)
.end

```

(MODEL を入れずに LTSpice の Standard Transistor を選択した方がいました。このため、結果が異なり増幅されません)

VTO : V_{SB} がゼロのときのしきい値電圧 (単位 : V)

GAMMA : 基板バイアス効果係数 (単位 : $V^{1/2}$)

PHI : $2\phi_F$ (単位 : V)

TOX : ゲート酸化膜厚 (単位 : m)

NSUB : 基板不純物濃度 (単位 : cm^{-3})

LD : ソース/ドレインの側壁拡散長 (単位 : m)

UO : チャネル移動度 (単位 : $cm^2/V/s$)

LAMBDA : チャネル長変調係数 (単位 : V^{-1})

CJ : ソース/ドレイン底面の単位面積あたりの接合容量 (単位 : F/m²)

CJSW : ソース/ドレイン側壁の単位長あたりの接合容量 (単位 : F/m)

PB : ソース/ドレイン接合のビルトインポテンシャル (単位 : V)

MJ : CJ の解析式の指数 (単位 : なし)

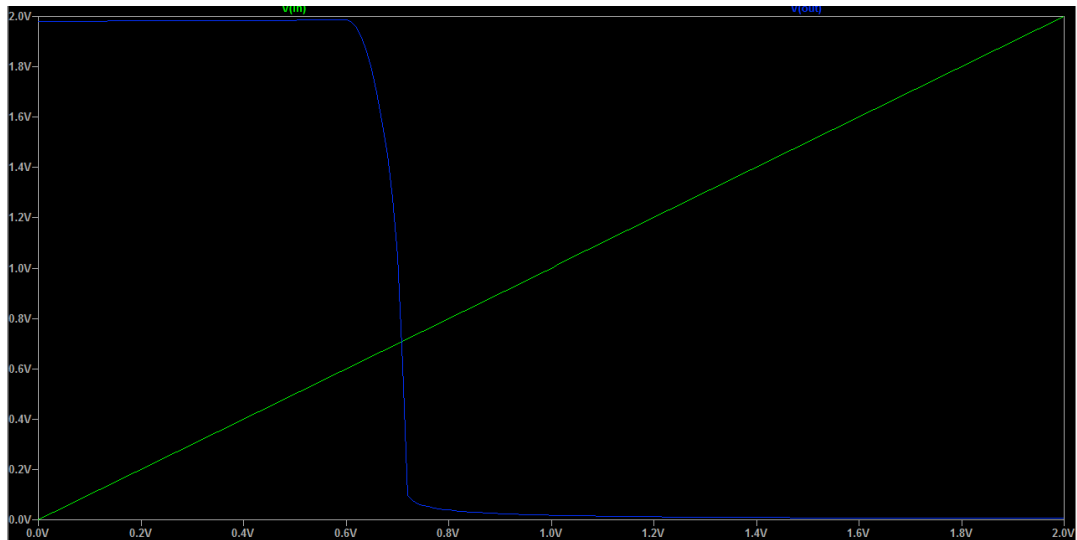
MJSW : CJSW の解析式の指数 (単位 : なし)

CGDO : 単位長あたりのゲート-ドレインのオーバーラップ容量 (単位 : F/m)

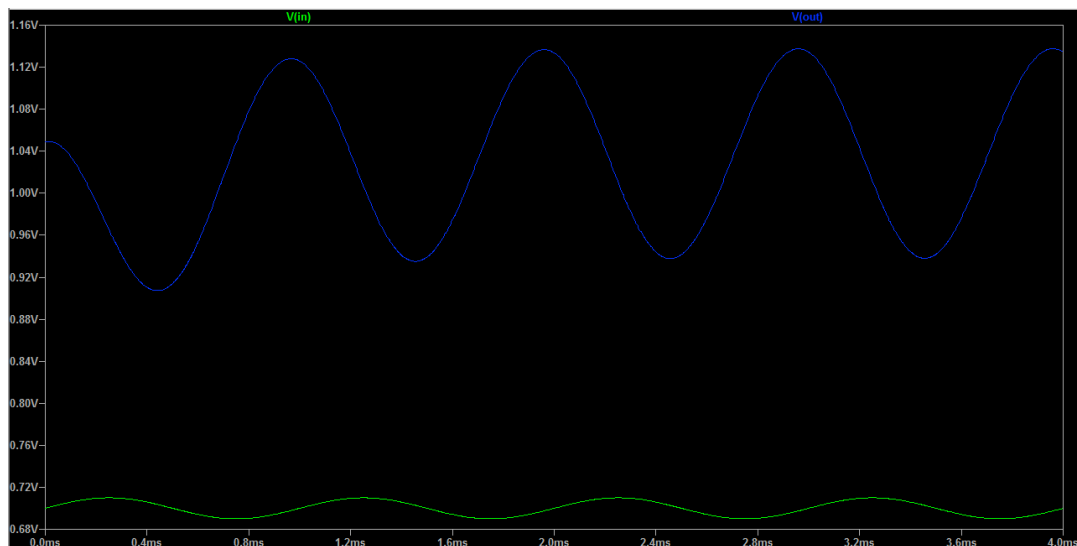
CGSO : 単位長あたりのゲート-ソースのオーバーラップ容量 (単位 : F/m)

JS : 単位面積あたりのソース-ドレインのリーク電流 (単位 : A/m²)

[DC 解析]



[過渡解析]



(SPICE を行えない方)

II-A. 図 3 のようにバイアスされた NMOS トランジスタがある。

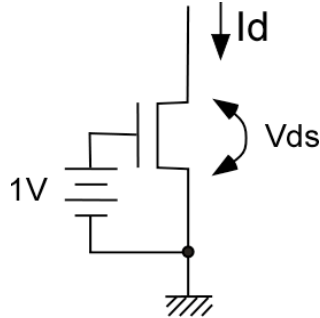


図 3

(a) このトランジスタが飽和領域で動作する為には、 V_{ds} は何 V 以上でなければならないか？

(b) この時、 I_d の電流値はいくつになるか？

(c) $I_d - V_{ds}$ の特性曲線を概略でグラフで示せ。

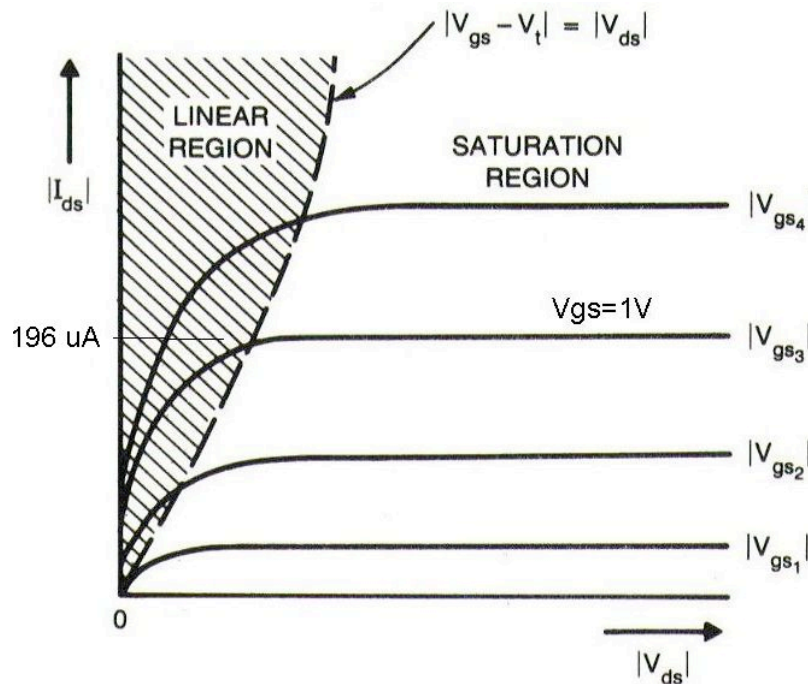
ただし、 $\mu_n = 350 \text{ [cm}^2/\text{V/sec]}$, $C_{ox} = 7 \text{ [fF}/\mu\text{m}^2]$, $V_{th} = 0.7 \text{ [V]}$, $L = 1 \text{ [}\mu\text{m]}$, $W = 10 \text{ [}\mu\text{m]}$ 、チャネル長変調は無し($\lambda = 0$) とする。

(a) $V_{ds} \geq V_{gs} - V_{th} = 1 - 0.7 = 0.3 \text{ V}$

$$(b) \quad I_d = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{gs} - V_{th})^2 = \frac{1}{2} \cdot 350 \cdot (7E-15 \times 1E8) \cdot \frac{10}{1} \cdot 0.3^2$$

$$= 1.1 \times 10^{-4} = 110 \text{ [uA]}$$

(c)



II-B. 図 4 に示したソース接地回路があり、 $(W/L)_1 = 50/0.5$, $(W/L)_2 = 10/0.5$, $V_{th1} = 0.7 \text{ V}$, $V_{th2} = -0.8 \text{ V}$ かつ $I_{D1} = I_{D2} = 0.5 \text{ mA}$ とし、その他の条件は II-A と同じとする。

(a) M1 及び M2 の g_m の値を求めよ。

(b) 電圧増幅率を求めよ。

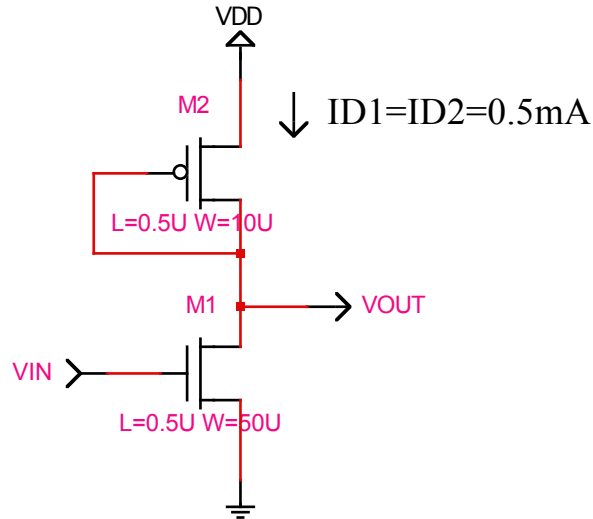


図 4

$$\begin{aligned}
 ID1 &= \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{gs} - V_{th1})^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 350 \cdot 7 \times 10^{-7} \cdot \frac{50}{0.5} \cdot (V_{gs} - 0.7)^2 \\
 &= 0.01225 (V_{gs} - 0.7)^2 = 0.5 \times 10^{-3} \\
 \therefore V_{gs} &= 0.902 \text{ [V]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 gm1 &= \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{gs} - V_{th1}) \\
 &= 350 \cdot 7 \times 10^{-7} \cdot \frac{50}{0.5} \cdot (0.902 - 0.7) = 4.95 \text{ [mS]}
 \end{aligned}$$

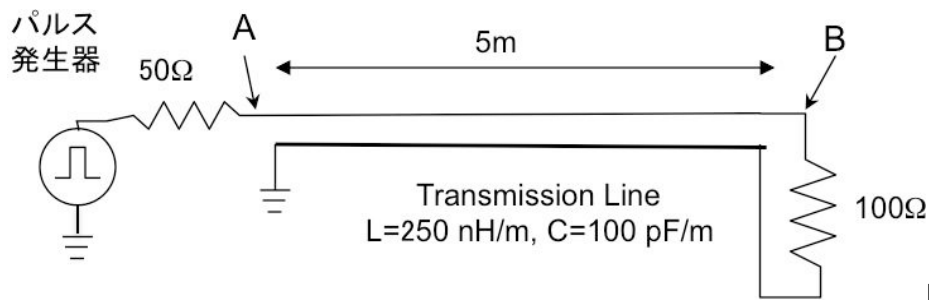
$$\begin{aligned}
 ID2 &= \frac{1}{2} \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} (V_{gs} - V_{th2})^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 7 \times 10^{-7} \cdot \frac{10}{0.5} \cdot (V_{gs} - 0.8)^2 \\
 &= 7 \times 10^{-4} \cdot (V_{gs} - 0.8)^2 = 0.5 \times 10^{-3} \\
 \therefore V_{gs} &= 1.645 \text{ [V]}
 \end{aligned}$$

$$V_{out} = 3 - V_{gs} = 1.355$$

$$\begin{aligned}
 gm2 &= \mu_p C_{ox} \frac{W}{L} (V_{gs} - V_{th2}) \\
 &= 100 \cdot 7 \times 10^{-7} \cdot \frac{10}{0.5} \cdot (1.645 - 0.8) \\
 &= 1.18 \text{ [mS]}
 \end{aligned}$$

$$Av = -gm1 / gm2 = -4.2$$

II-C. 図 5 のようなパルス発生器、抵抗、線路(Transmission Line)からなる回路がある。
ここでパルス発生器の電圧源は、インピーダンス 0 オームの理想電源とする。

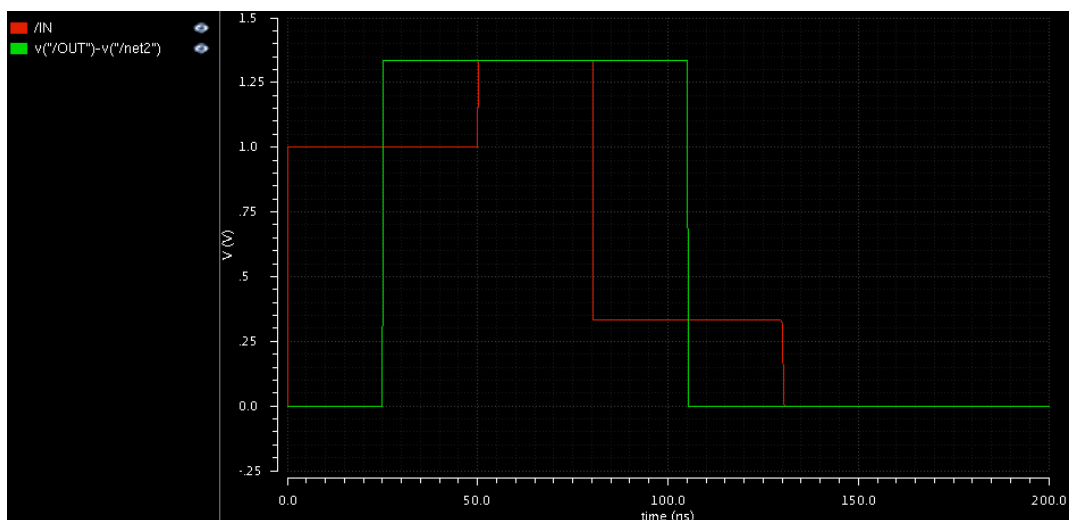


- (a) この線路の特性インピーダンスを求めよ。
 (b) 50 オームの出力駆動能力を持つパルス発生器で信号を発生させた時、この線路を伝わって A 点から B 点に信号が届くまでの伝搬遅延時間を求めよ。
 (c) 遠端での反射係数を求めよ
 (d) 時刻 $t=0$ で波高 2V、パルス幅 80ns のパルスを実験器で発生させた時の、A 点及び B 点で観測した波形をグラフで示せ。

(a) $Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = 50 \text{ } [\Omega]$

(b) $T_d = 5 \times \sqrt{LC} = 25 \text{ } [\text{nsec}]$

(c) $R = \frac{100 - 50}{100 + 50} = 0.33$



.TRAN 1e-9 200e-9 START=0.0

.TEMP 25.0

.INCLUDE "/home/arai/14Lecture/oa/trmodel.inc"

r1 net1 in 50

r0 out net2 100

vin net1 0 PULSE 0 2 100e-12 100e-12 100e-12 80e-9 2e-6

t0 in 0 out net2 ZO=50 TD=25e-9 NL=250e-3 IC=0 , 0 , 0 , 0

.END

(全員)

II-A. この 40 年間くらいの中で日本人が発明・開発したエレクトロニクス関連の機器・デバイスについて調べて、あなたが興味を持ったものを 1 点簡単にまとめて紹介せよ。

III-B. 今回の講義に関して感想、意見がありましたら記して下さい。