

超高感度赤外線検出器 CSIPの評価研究

筑波大学大学院 物理学専攻 宇宙観測研究室 M2
宇宙科学研究所 赤外・サブミリ波天文学研究系 特別共同利用研究員

二瓶 亮太

What is CSIP ?

Charge Sensitive Infrared Phototransistor:
電荷敏感型赤外光トランジスタ

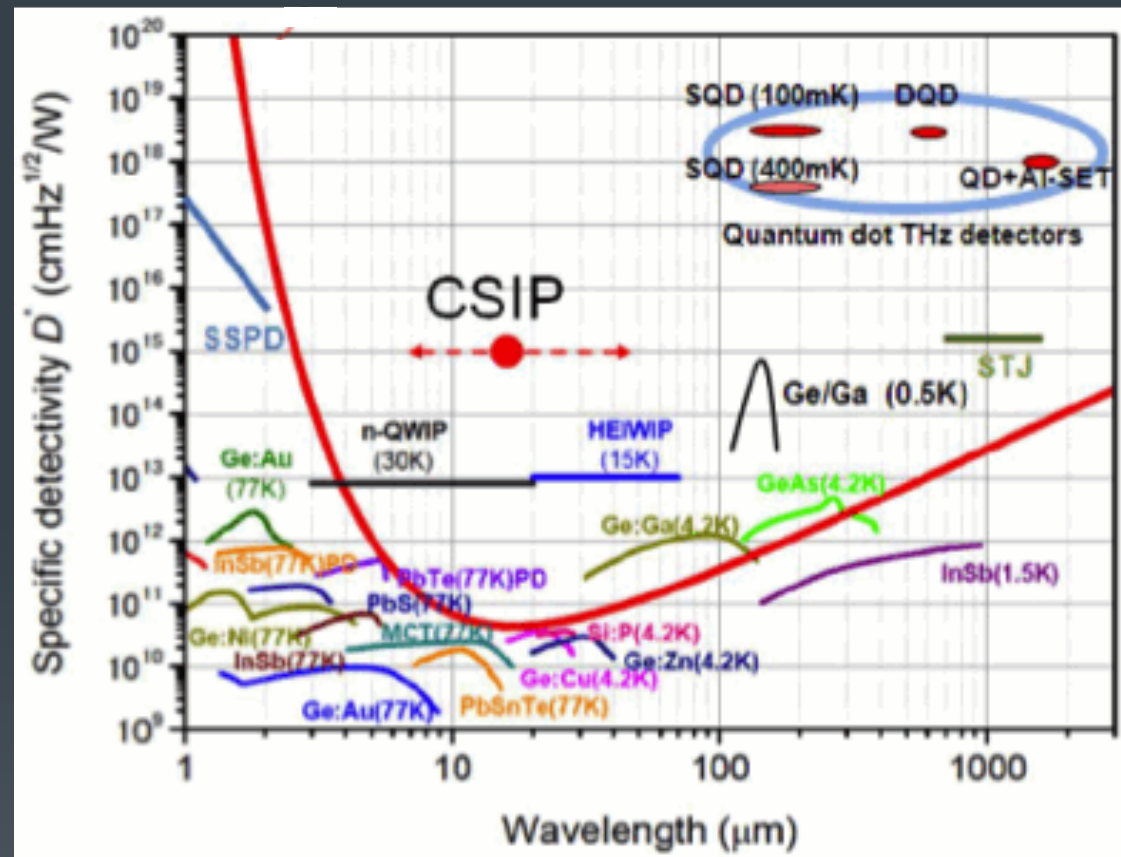
特徴

① 単一光子検出可能

$$\text{NEP} = 6.8 \times 10^{-19} [\text{W}/\text{Hz}^{-1/2}]$$

② 中間(+遠)赤外領域

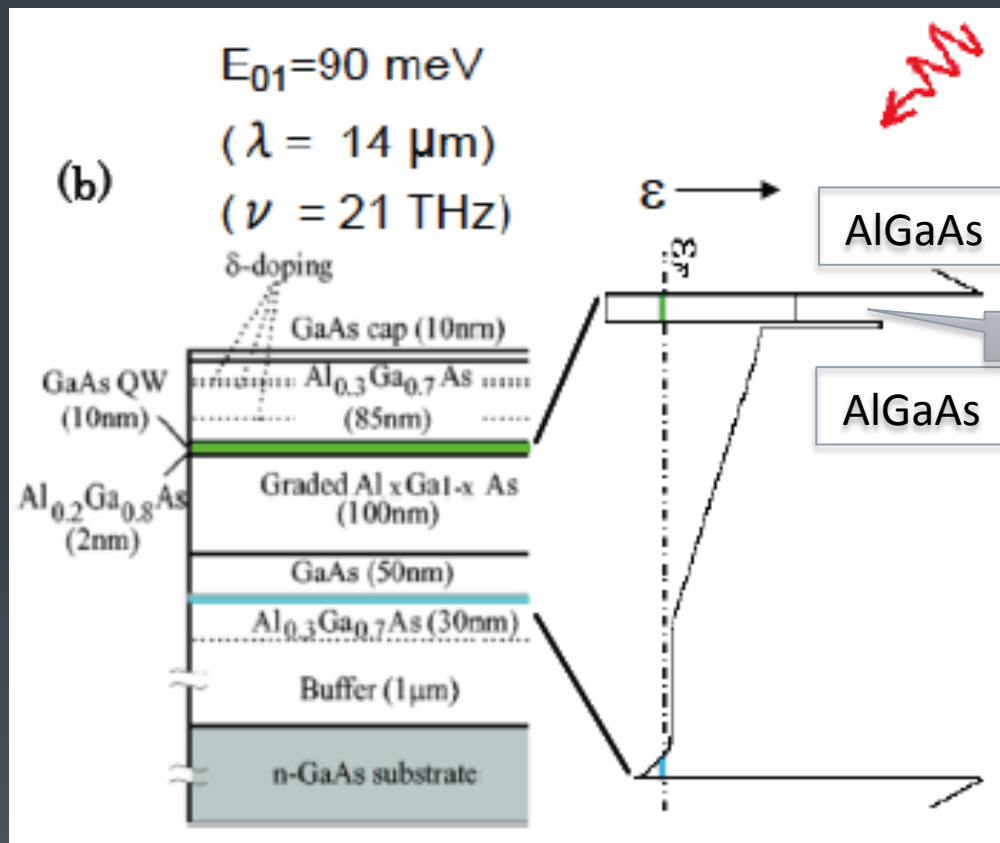
12,15,27,29,45 μm



T.Ueda et al. Sensors 2010

CSIP mechanism

GaAs/AlGaAs 2重量子井戸構造



赤外光の入射



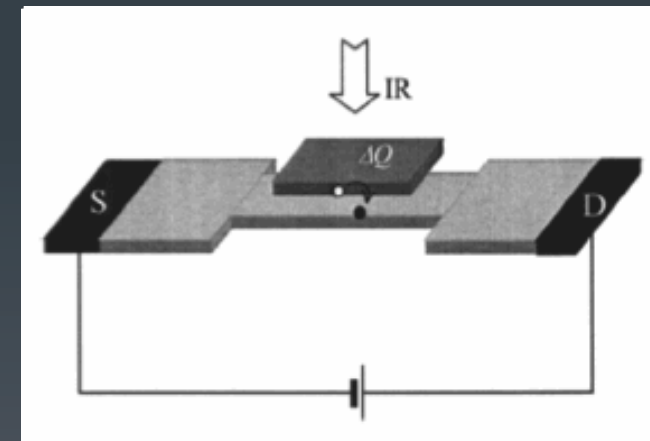
励起電子が下の井戸に移動



ホールがゲート部分に蓄積



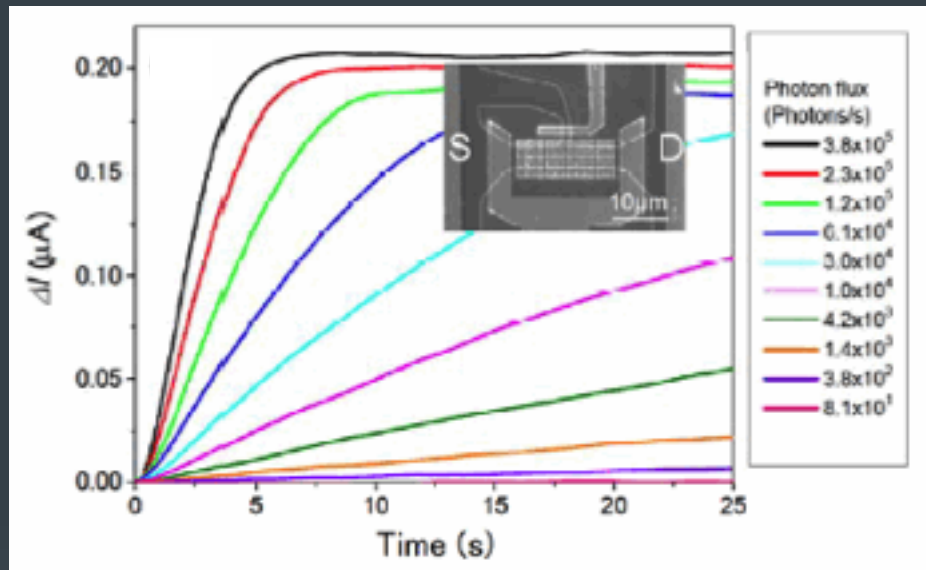
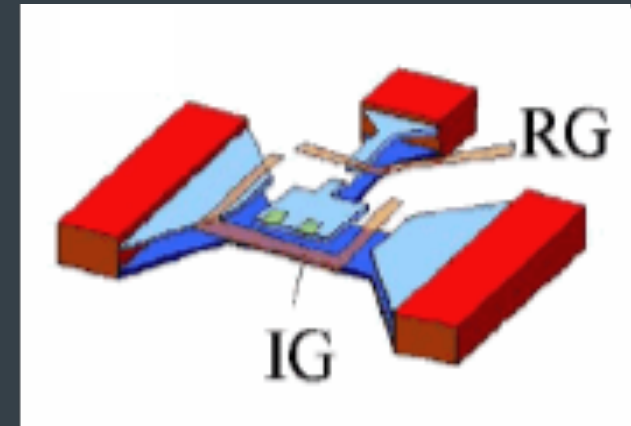
ドレイン-ソース間の電気伝導度に変化



Z. An et al. 2005 Appl. Phys

CSIP signals

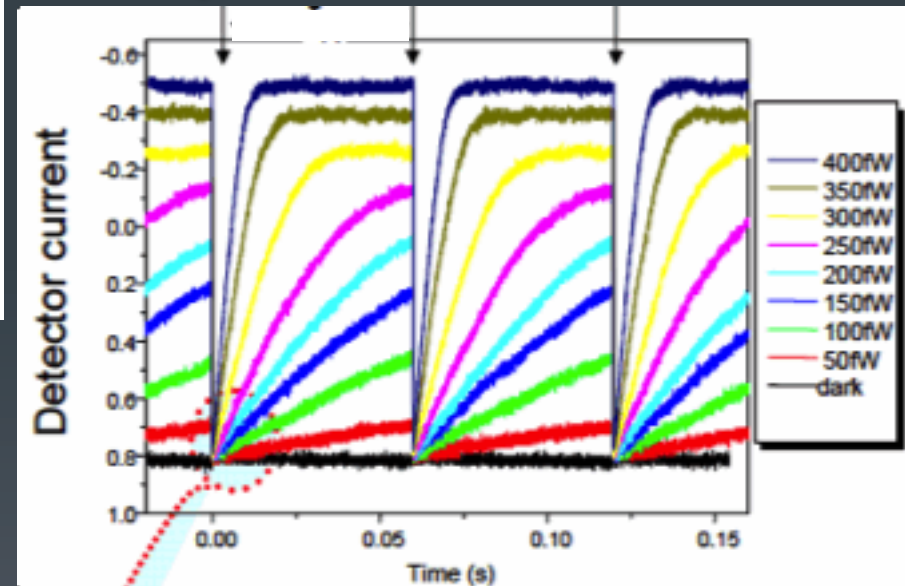
予めゲートに電圧をかけ、上側のドレイン-ソース間は切断



T. Ueda et al. IFSA 2011

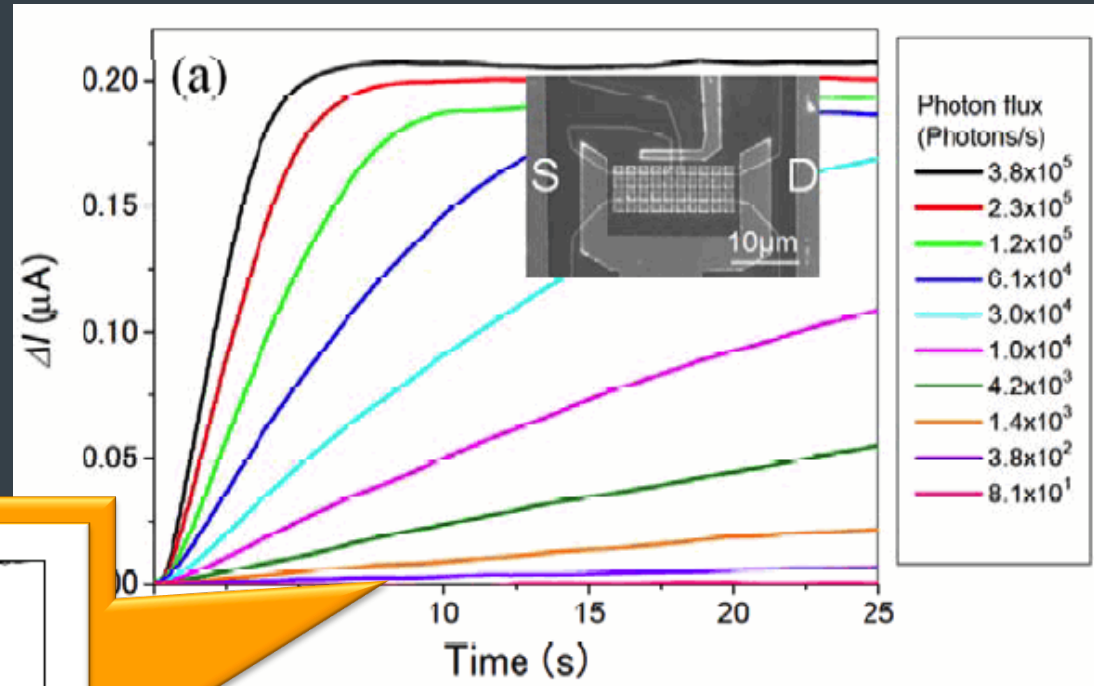


Introducing a Reset Gate

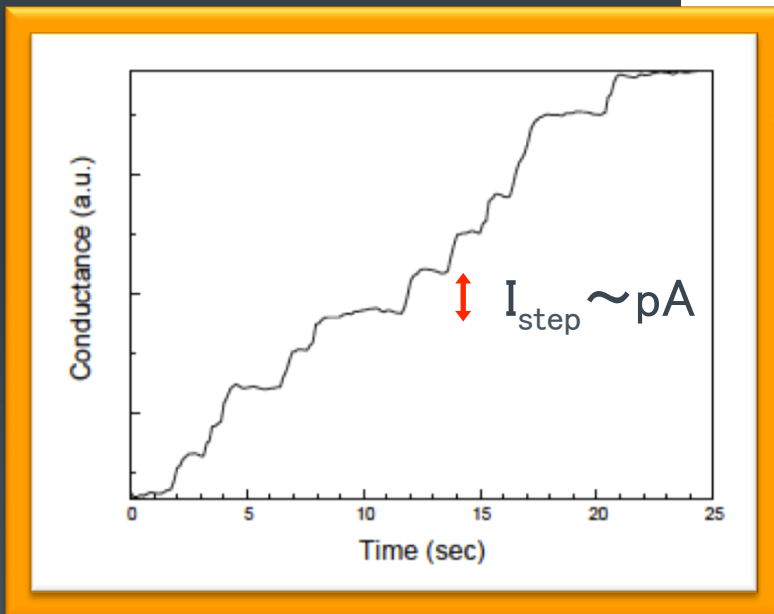


Z. An et al. IEEE 2007

Photon Counting



T. Ueda et al. IFSA 2011



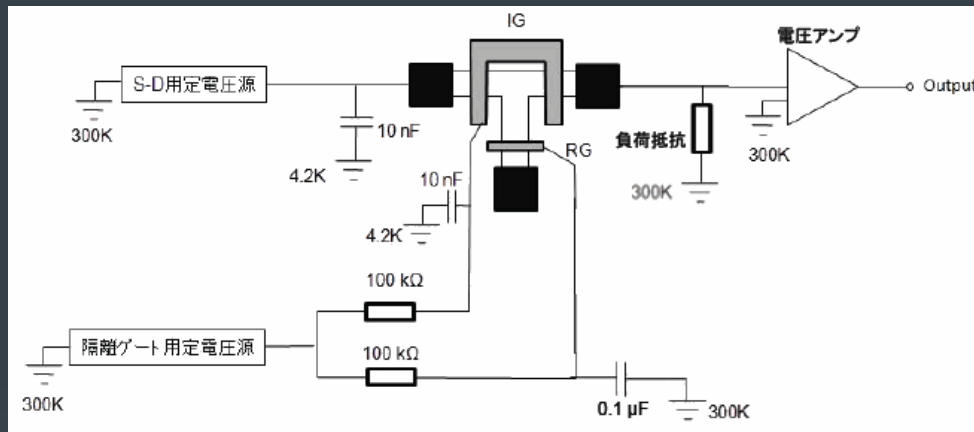
T. Ueda et al. IEEE 2008

$$I_{\text{sig}} = n * I_{\text{step}}$$

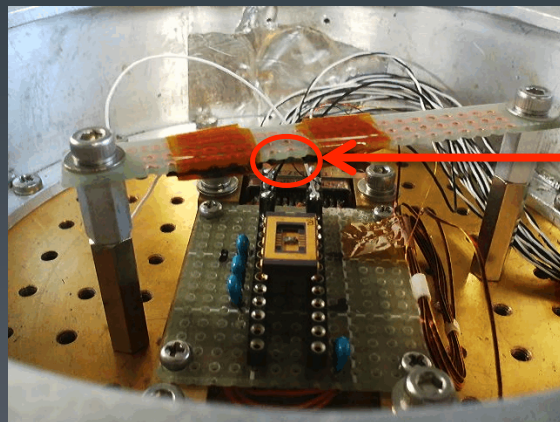
n: # of accumulated positive charge

CSIP Experiments

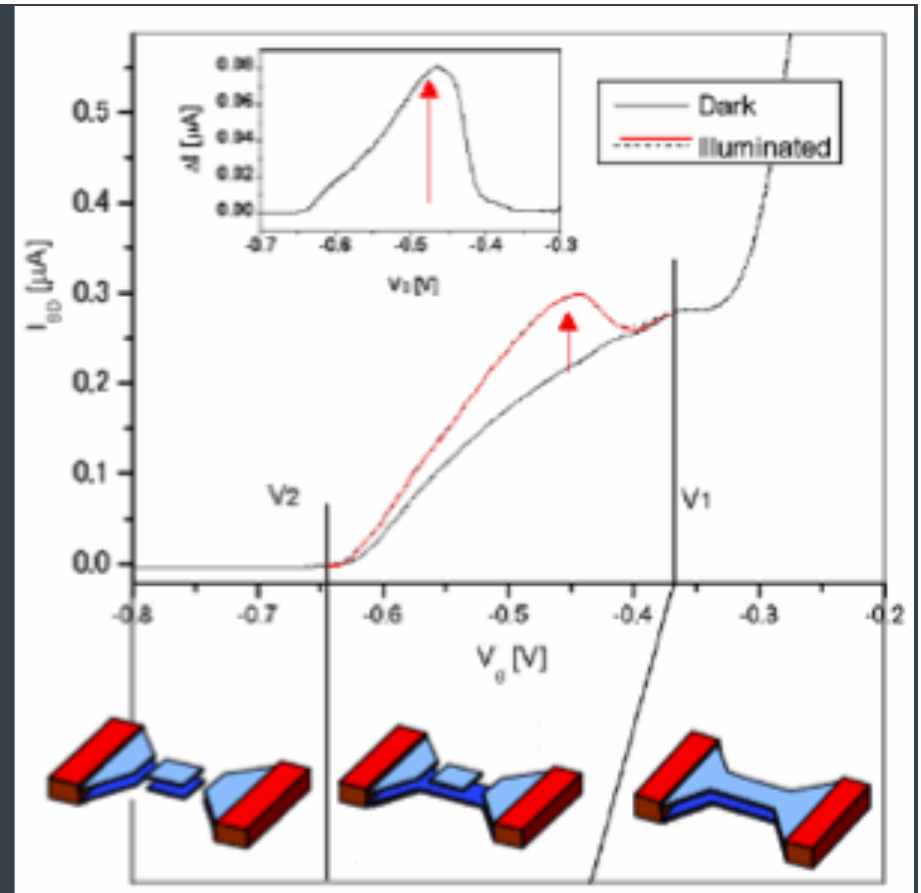
- 15 μm 帯CSIPを使用
- 温度4.2K
- 受光しているかいないかのみ測定
- 光源は1.5k Ω 抵抗を使用



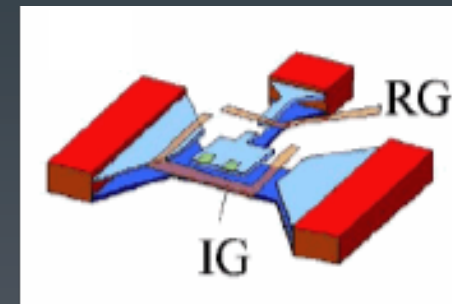
測定回路図



光源ヒーター

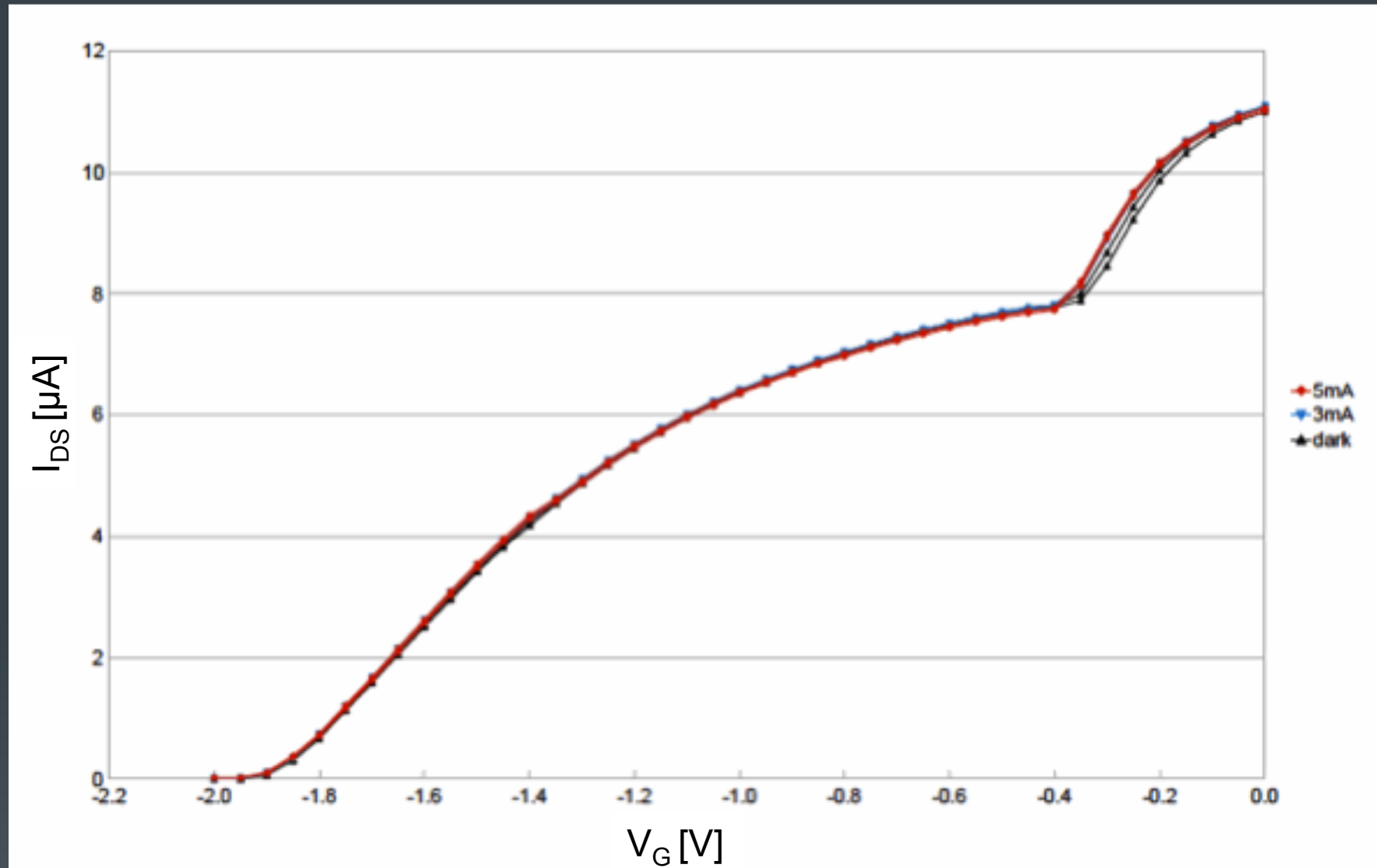


Ueda et al. Sensors 2010



結果

$V_{DS} = 10\text{mV}$



なぜ、光が受からないのか

- そもそも、ヒーターからの赤外線放射が弱い？

予想されるヒーター温度↓

1.5kΩ抵抗に3mAの電流を流して測定したときP=13.5mW

$$\sigma T^4 S_1 + (\lambda_T S_2 / \ell) T = P$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}]$$

$$S_1 = 2.83 \times 10^{-5} [\text{m}^2]$$

$$\lambda_T = 67 [\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}]$$

$$S_2 = 7.85 \times 10^{-9} [\text{m}^2]$$

$$\ell = 0.1 [\text{m}]$$

抵抗の表面積

配線の熱伝導率

配線の表面積

配線の長さ

左式から得られる光源ヒータの温度

1mAのとき 146K

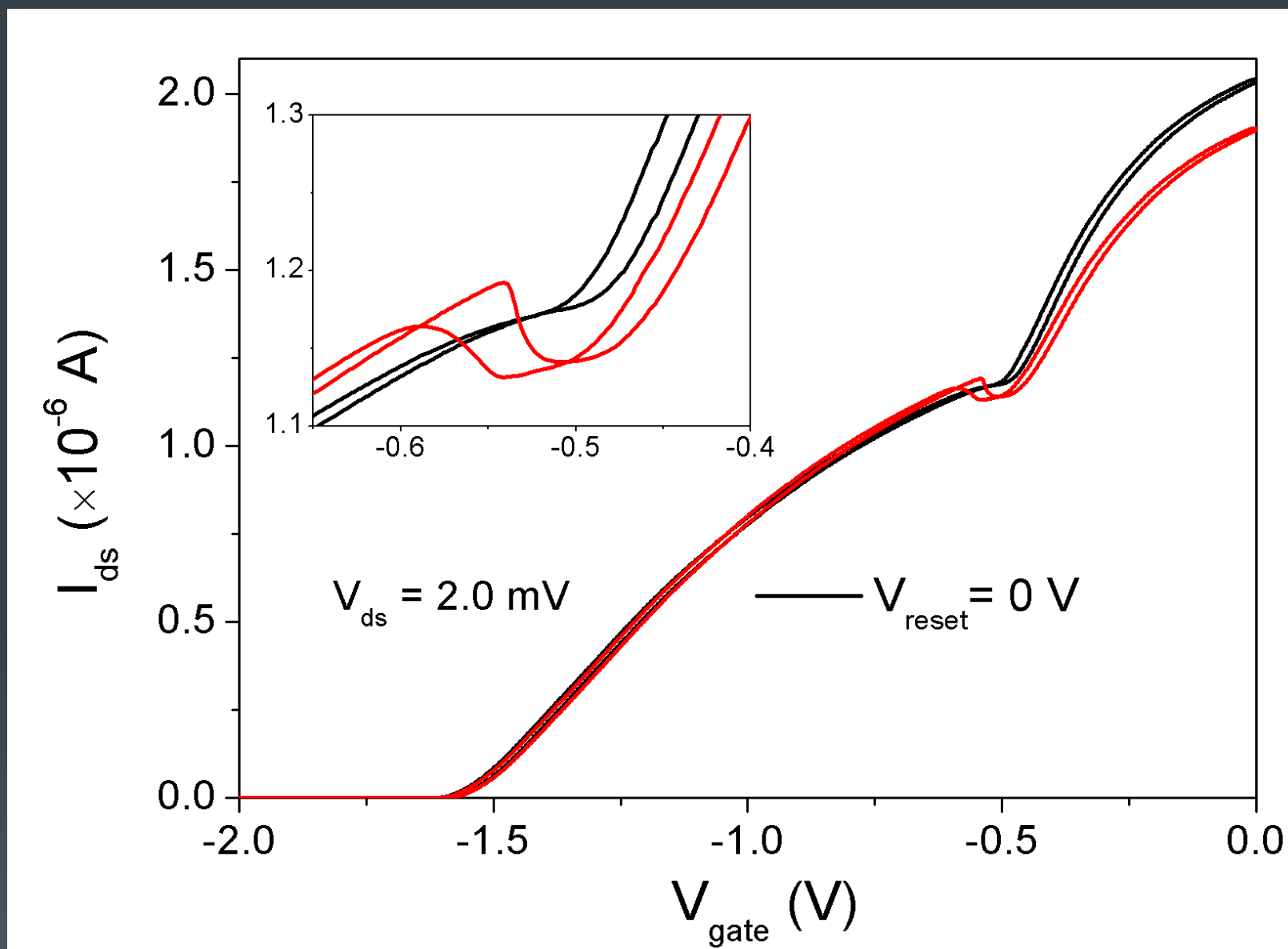
2mA 233K

3mA 293K

5mA 385K

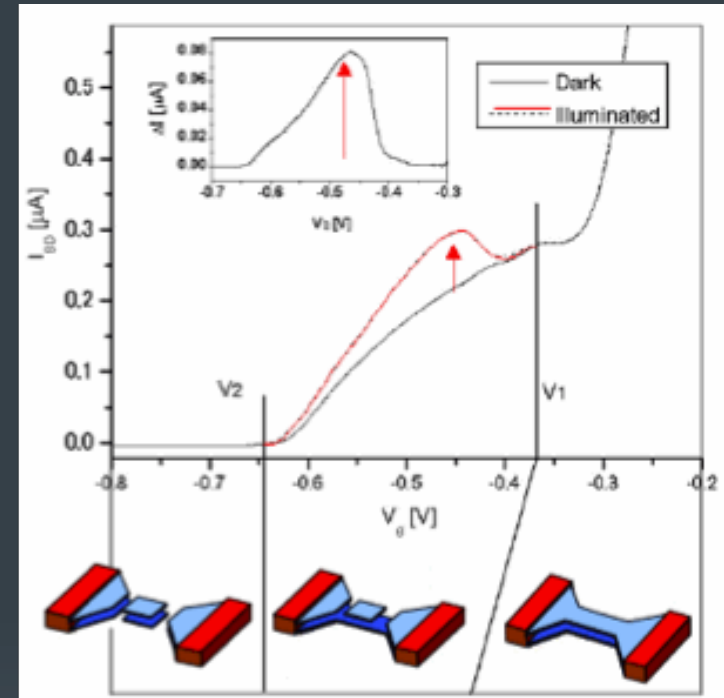
- 冷却方法や測定方法の問題？
- 素子自身の問題？

小宮山研での測定結果



CSIP assessments

- 赤外光の応答の確認
- リセットパルスを入れた応答
- 有感波長帯
- 温度依存性測定
- ダイナミックレンジ
- 量子効率
- ...



Ueda et al. Sensors 2010

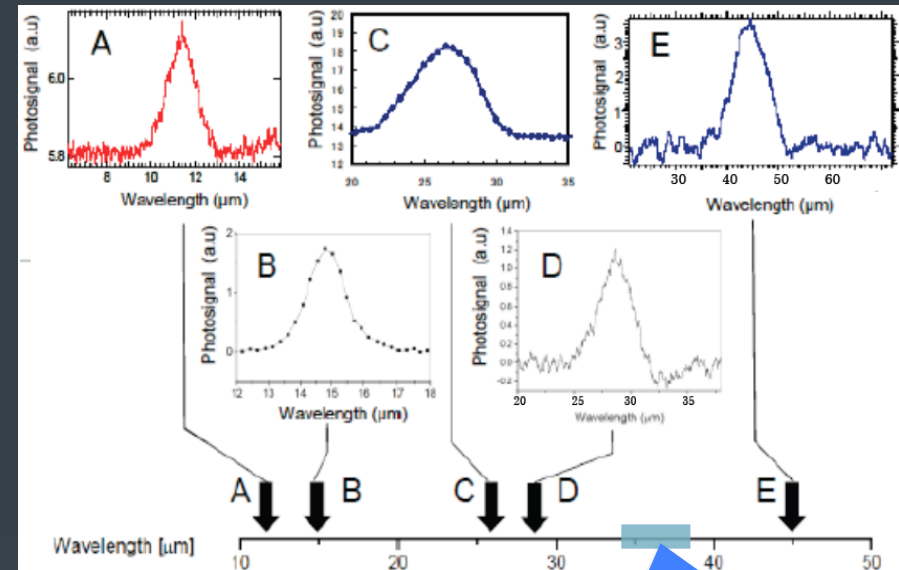
CSIP future

将来

長波長側への感度拡張

現状

← 12,15,27,29,45 μm



T. Ueda et al. J. Appl.Phys 2011

Reststrahlen band of GaAs ($\lambda = 34-37 \mu\text{m}$)

2次元アレー化
量子効率の向上

← 15 μm で20 \times 20

← 最高8.0%