

透明電極GaN系FETを用いた 低リーク高感度紫外線受光素子

名古屋工業大学大学院工学研究科
機能工学専攻
分島 彰男



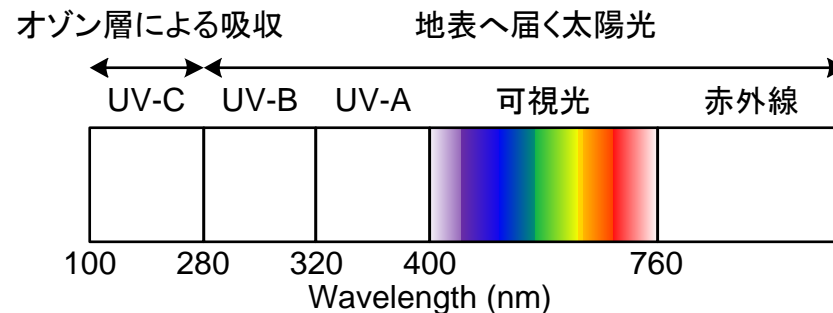
紫外線センサの用途

民生 UV-A、UV-B(スキンケア)、UV-C(照明下での火炎の観測)

波長選択制、高速動作、高感度、高温動作

工業 UV-C(フトリソグラフィー、殺菌等の光源装置モニタ)

波長選択制、高感度



研究背景

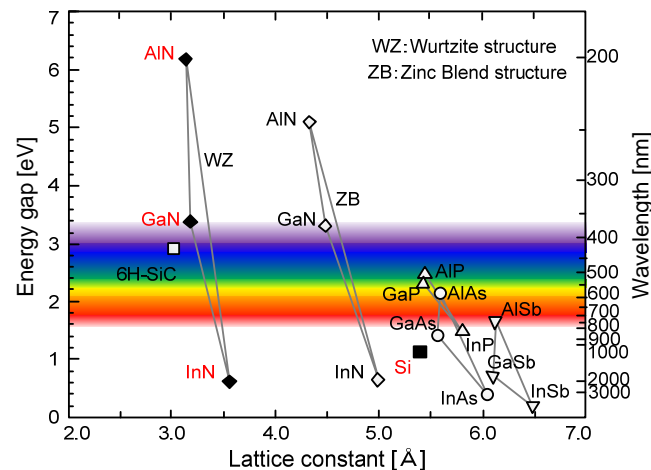
◆ 実用化されている紫外線センサ

	光電管型センサ	Siフォトダイオード+光学フィルタ
利点	高感度、高速動作	安価
欠点	価格、寿命	低感度

安価、長寿命、高感度を満たす紫外線センサ

◆ 窒化物半導体を用いた受光素子の利点

波長選択性
高温動作
長寿命
安価



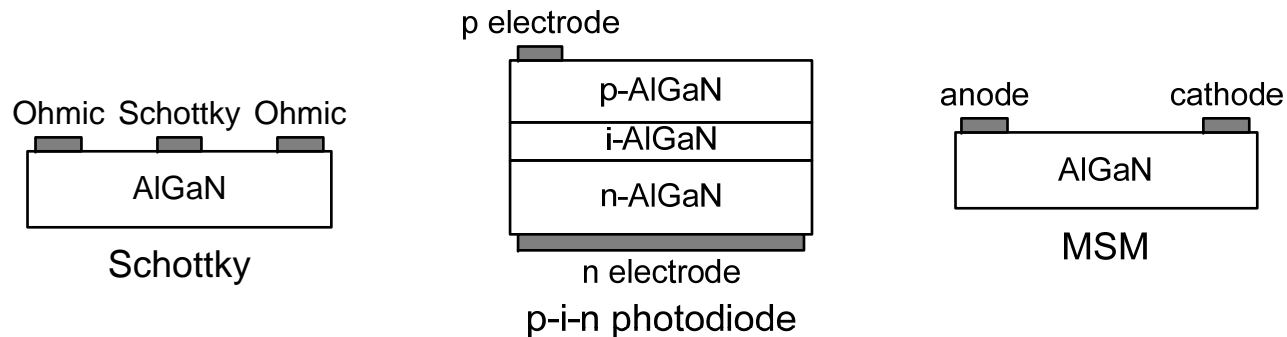
窒化物受光素子の構造

◆ 受光素子の種類

ショットキーダイオード

p-i-n ダイオード

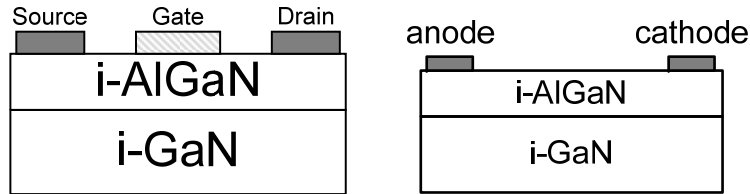
MSM(metal-semiconductor-metal) 型



光励起による電子-正孔対が電流に寄与

感度が制限

AlGaN/GaN ヘテロ構造を用いた受光素子



$$\text{ドリフト電流} = qn\mu E$$

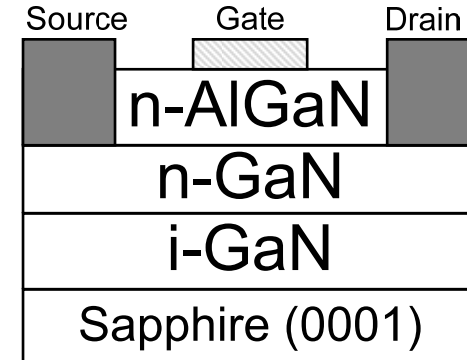
2DEGの高い移動度

電極間及びゲート直下に高電界が働く

少しのキャリア増加で高感度

- 利点
 - 高感度
 - 電子デバイスとの集積化
- 欠点
 - 暗電流が大きい(mA程度*)

暗電流低減する構造
表面からの光照射に反応



illumination*

*M. A. Khan et al., Electron. Lett., **31** (1995), 398.

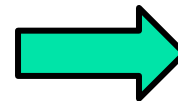
目的及び検討内容

◆ 目的

異種集積可能なAlGa_xN/GaN ヘテロ構造(HEMT)を用いた
紫外線受光素子による暗電流低減と感度の両立

◆ アプローチ

- 暗電流低減⇒ピンチオフ状態で使
- デバイス表面からの光照射に反応



透明ゲート電極の適応

◆ 検討内容

- 検討1
 - 透明ゲートAlGa_xN/GaN HEMTの作製及び基本的DC特性
- 検討2
 - 紫外光照射時の応答特性

デバイス構造及び作製プロセス

作製プロセス

◆素子間分離

BCl₃ plasma etching (RIE)

◆オーミック電極

Ti/Al/Ni/Au 15/ 80/ 12/ 40 nm

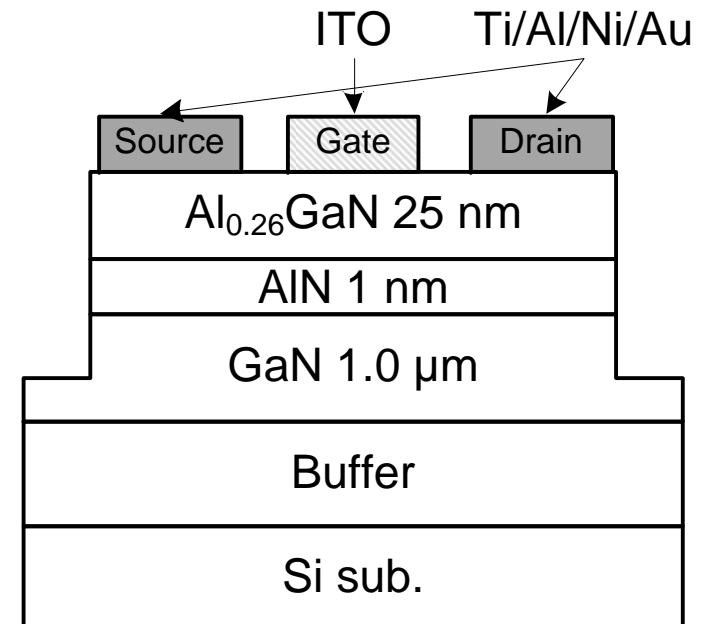
アニール N₂雰囲気中 850 °C 30 sec.

◆ショットキー電極

ITO 60 nm (RF sputtering)

室温成膜、加熱処理無

Ni/Au 6/12 nm (比較用)

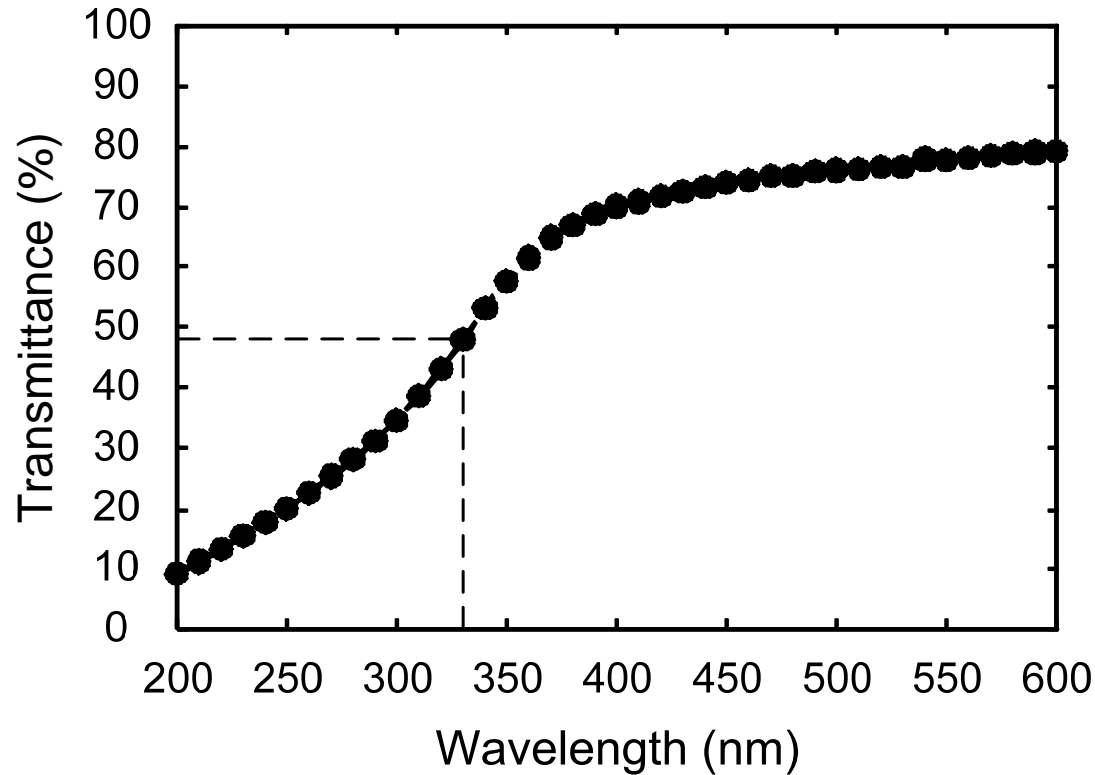


測定素子

$$L_{gs} = 4 \mu\text{m}, L_g = 1.5 \mu\text{m}, L_{gd} = 4 \mu\text{m}$$

$$W_g = 200 \mu\text{m}$$

ITO透過率

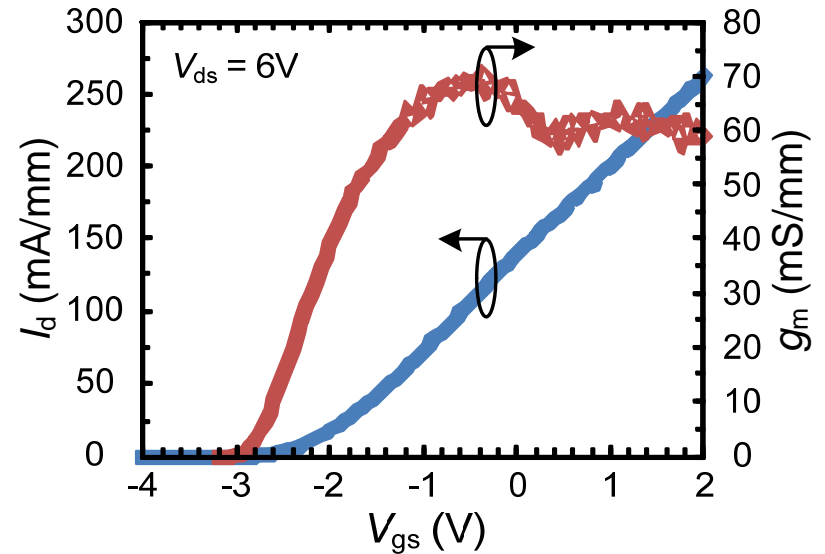
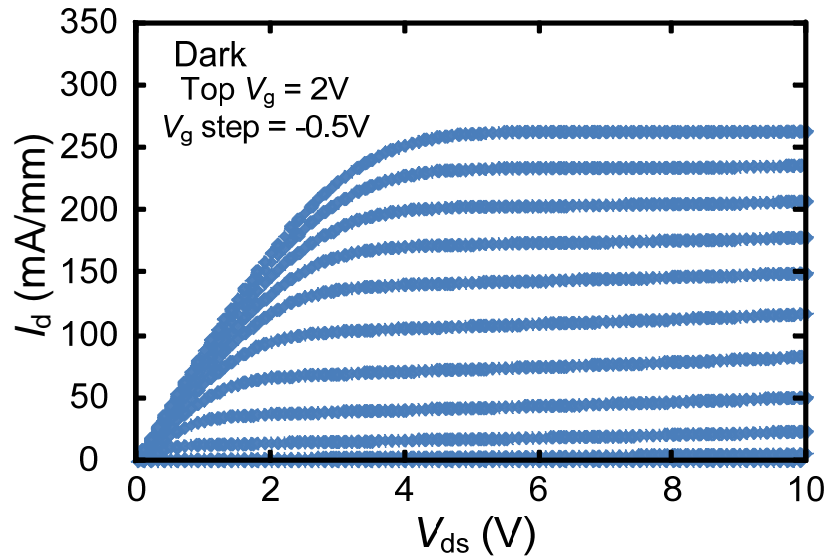


ITOの膜厚は60 nm、板厚0.5mmの合成石英基板上

透過率: 330nm 48 %

静特性, 伝達特性

ITOゲート HEMTの諸特性



ITOゲート HEMT

$$I_d = 260 \text{ mA/mm} (V_{gs} = 2V)$$

$$R_{on} = 11.7 \ \Omega \cdot \text{mm}$$

$$g_{mmax} = 70 \text{ mS/mm} (V_{ds} = 6V)$$

$$V_{th} = -2.2 \text{ V}$$

薄膜Ni/Auゲート HEMT

$$I_d = 240 \text{ mA/mm} (V_{gs} = 2V)$$

$$R_{on} = 13.5 \ \Omega \cdot \text{mm}$$

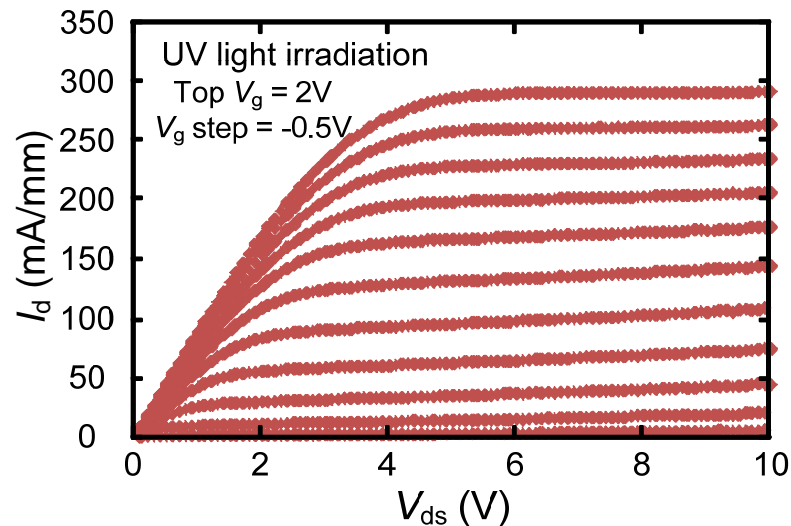
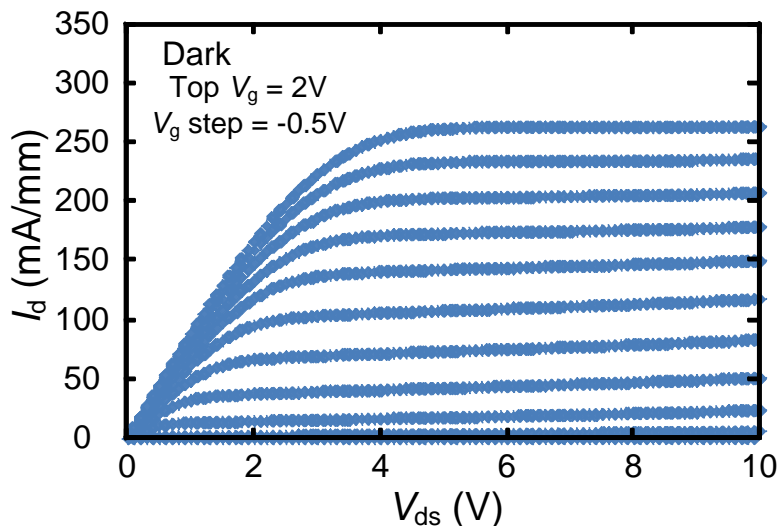
$$g_{mmax} = 80 \text{ mS/mm} (V_{ds} = 6V)$$

$$V_{th} = -1.3 \text{ V}$$

静特性 (紫外光照射時)

紫外光照射条件

照射光強度: $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, 波長: 360nm



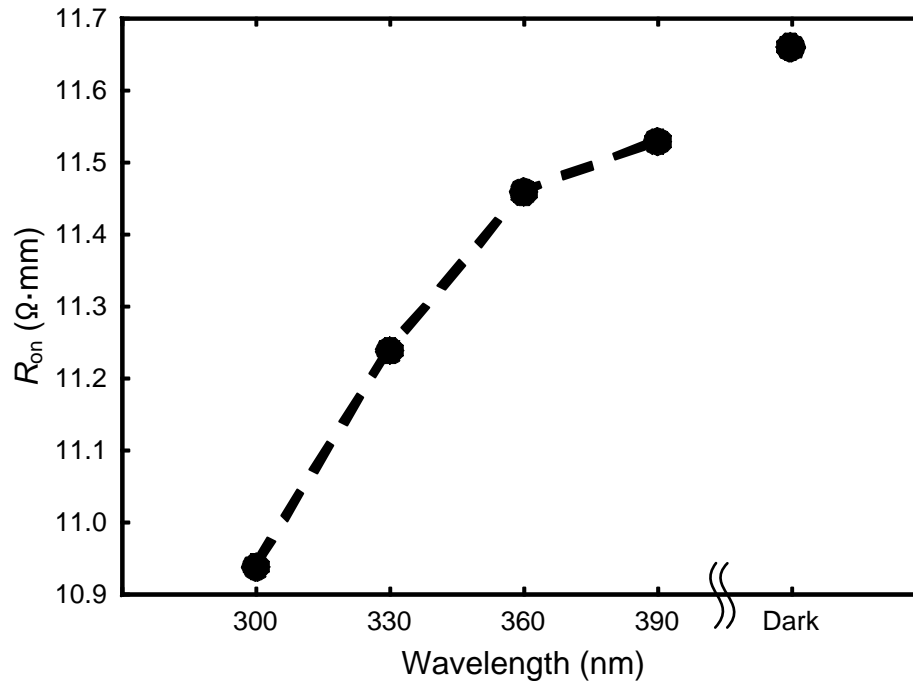
ITOゲート

ドレイン電流の増加(10 %程度, $V_{gs} = 2\text{V}$)
オン抵抗の低減($\Delta R_{on} = -0.2 \Omega \cdot \text{mm}$)

薄膜Ni/Auゲート

ドレイン電流の増加(8 %程度, $V_{gs} = 2\text{V}$)
オン抵抗の低減($\Delta R_{on} = -0.1 \Omega \cdot \text{mm}$)

on抵抗の照射光波長依存性



測定条件

照射光強度: $200 \mu \text{W}/\text{cm}^2$

全ての紫外光照射により、 R_{on} の低減を確認

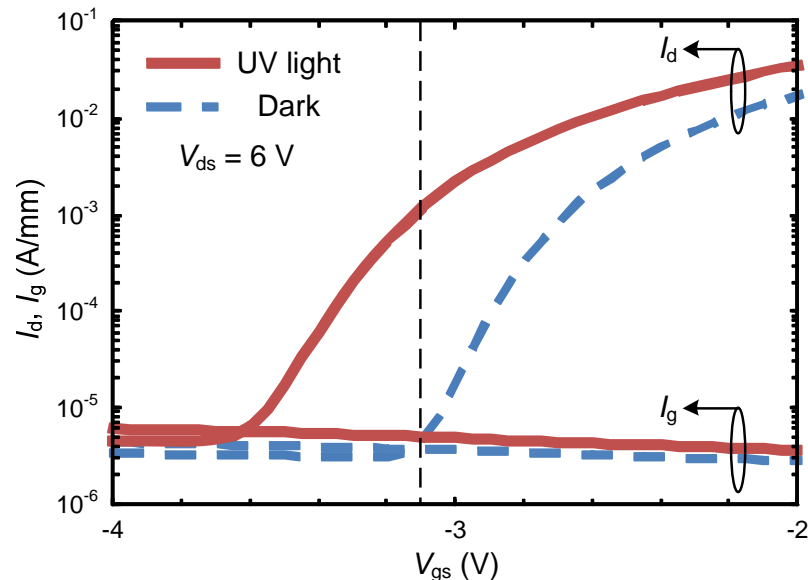
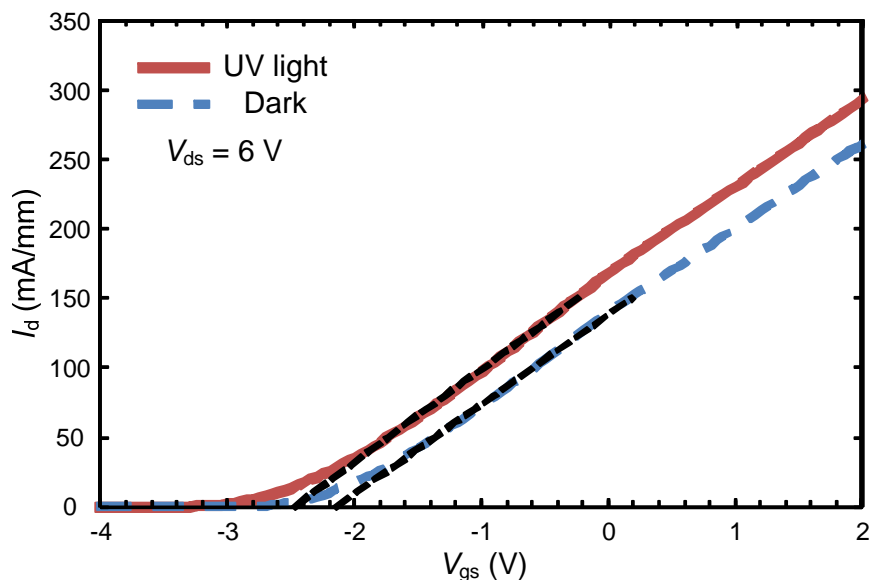
抵抗率= $1/nq\mu$ なので

ゲート・ソース間、ゲート・ドレイン間のキャリア増加によるもの

伝達特性(紫外光照射時)

紫外光照射条件

照射光強度: $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, 波長: 360nm



ITOゲート

紫外光照射により V_{th} が負方向へのシフト ($\Delta V_{th} = -0.3\text{ V}$)

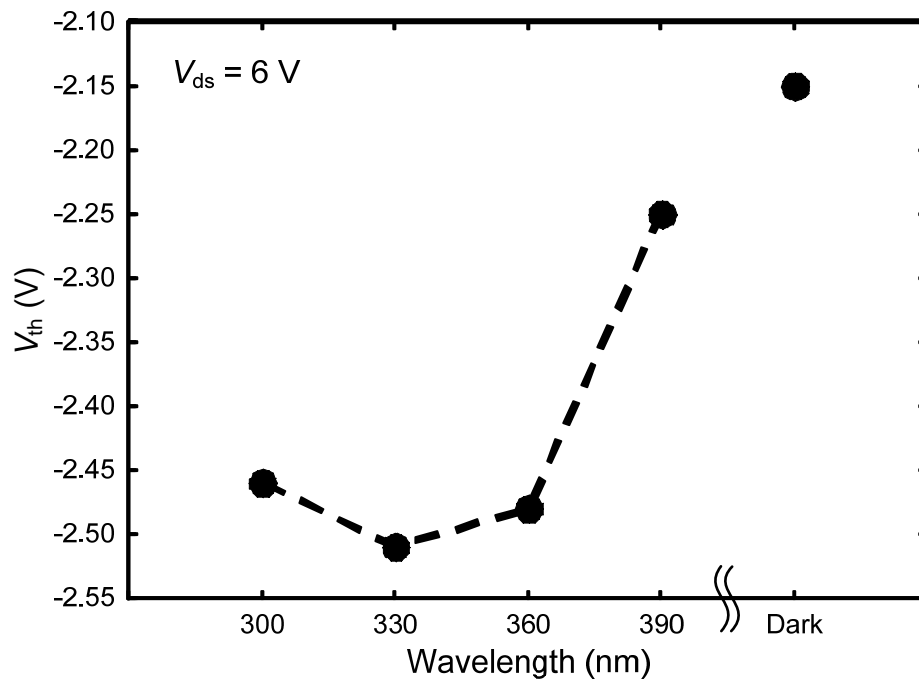
$V_{gs} = -3.1\text{ V}$ の時、ドレイン電流の増加が最大(S/N比: 270)

薄膜Ni/Auゲート

同様の V_{th} シフトを確認 ($\Delta V_{th} = -0.1\text{ V}$)

若干のドレイン電流の増加(最大S/N比: 4.3)

閾値電圧の照射光波長依存性

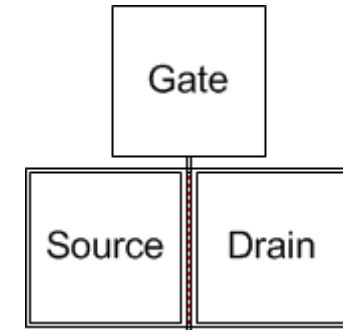
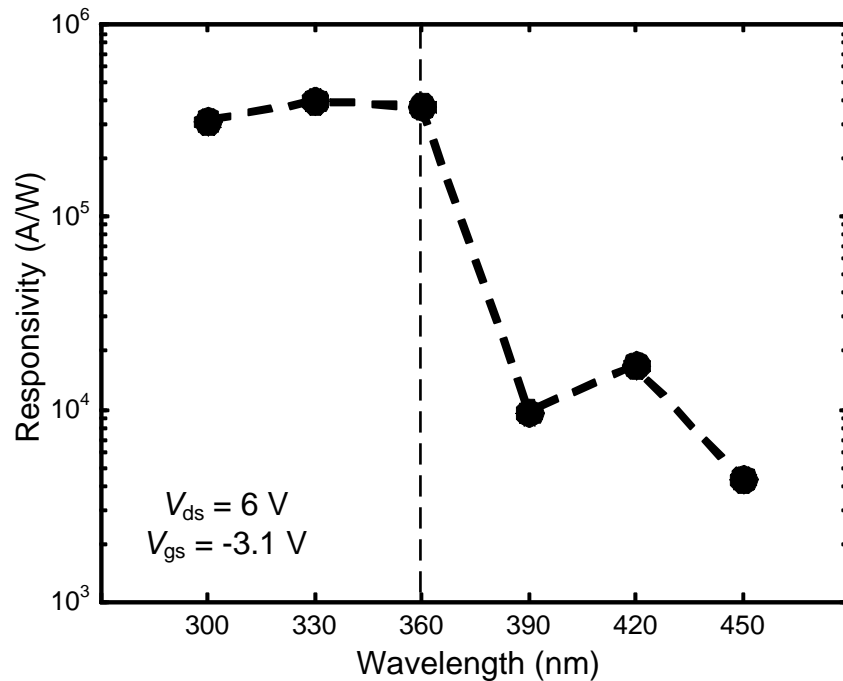


測定条件

照射光強度: $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

全ての紫外光照射により閾値の負方向へのシフトを確認
360nmの時、顕著なシフトを確認($\Delta V_{th} = -0.3 \text{ V}$)

受光感度



測定条件

照射光強度: $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

受光面積: $3 \times 10^{-6} \text{cm}^2$
(ゲート電極部)

$V_{ds} = 6 \text{V}$, $V_{gs} = -3.1 \text{V}$

ITOゲート

330 nmの時、受光感度最大 ($3 \times 10^5 \text{A/W}$)

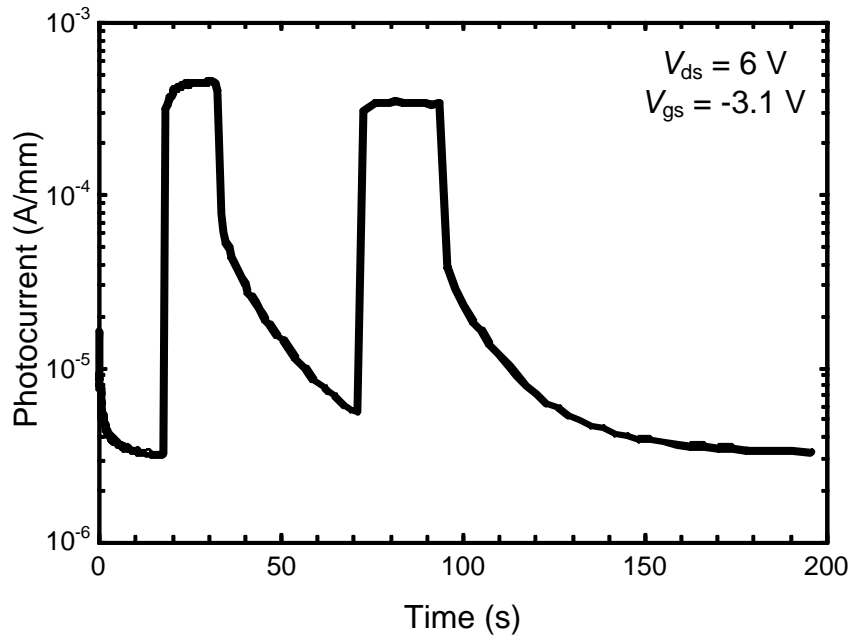
360 nm以上で受光感度の低下を確認

薄膜Ni/Auゲート

受光感度: 6000A/W

cf. 受光感度: 3000A/W^*

時間応答性



測定条件

照射光強度: $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

$V_{ds} = 6$ V, $V_{gs} = -3.1$ V

立ち上がり時間: <400ms

まとめ

- 透明ゲートHEMT 良好なピンチオフを確認

$(I_d = 260 \text{ mA/mm } (V_{gs} = 2\text{V}), R_{on} = 11.7 \ \Omega \cdot \text{mm})$

$g_{mmax} = 70 \text{ mS/mm } (V_{ds} = 6\text{V}), V_{th} = -2.2 \text{ V})$

- 暗電流の抑制($\text{mA} \Rightarrow \mu\text{A}$)

- 紫外光照射: I_d 10 %増加($V_{gs} = 2 \text{ V}$)

- 360 nm照射時に顕著な閾値電圧シフト($\Delta V_{th} = -0.3 \text{ V}$)

- ピンチオフ状態($V_{gs} = -3.1 \text{ V}$)でS/N比:270

- 高感度を確認 ($3 \times 10^5 \text{ A/W}$)



本技術に関する知的財産権

発明の名称： 紫外線透過ゲート電極を有する
電界効果トランジスタ
出願番号： 特願2011-243007
出願日： 平成23年11月7日
発明者： 分島彰男、江川孝志
出願人： 国立大学法人名古屋工業大学



お問い合わせ先

国立大学法人名古屋工業大学
産学官連携センター 知財活用部門

〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町

TEL: 052-735-5627

FAX: 052-735-5542

E-mail: c-socc@adm.nitech.ac.jp