



CHIBA UNIVERSITY



Center for  
Frontier  
Science



Chiba University  
Graduate School of  
Advanced Integration Science

13:30-13:55

新技術説明会

2020年2月20日 於 JST 東京本部別館 1Fホール, 千代田区

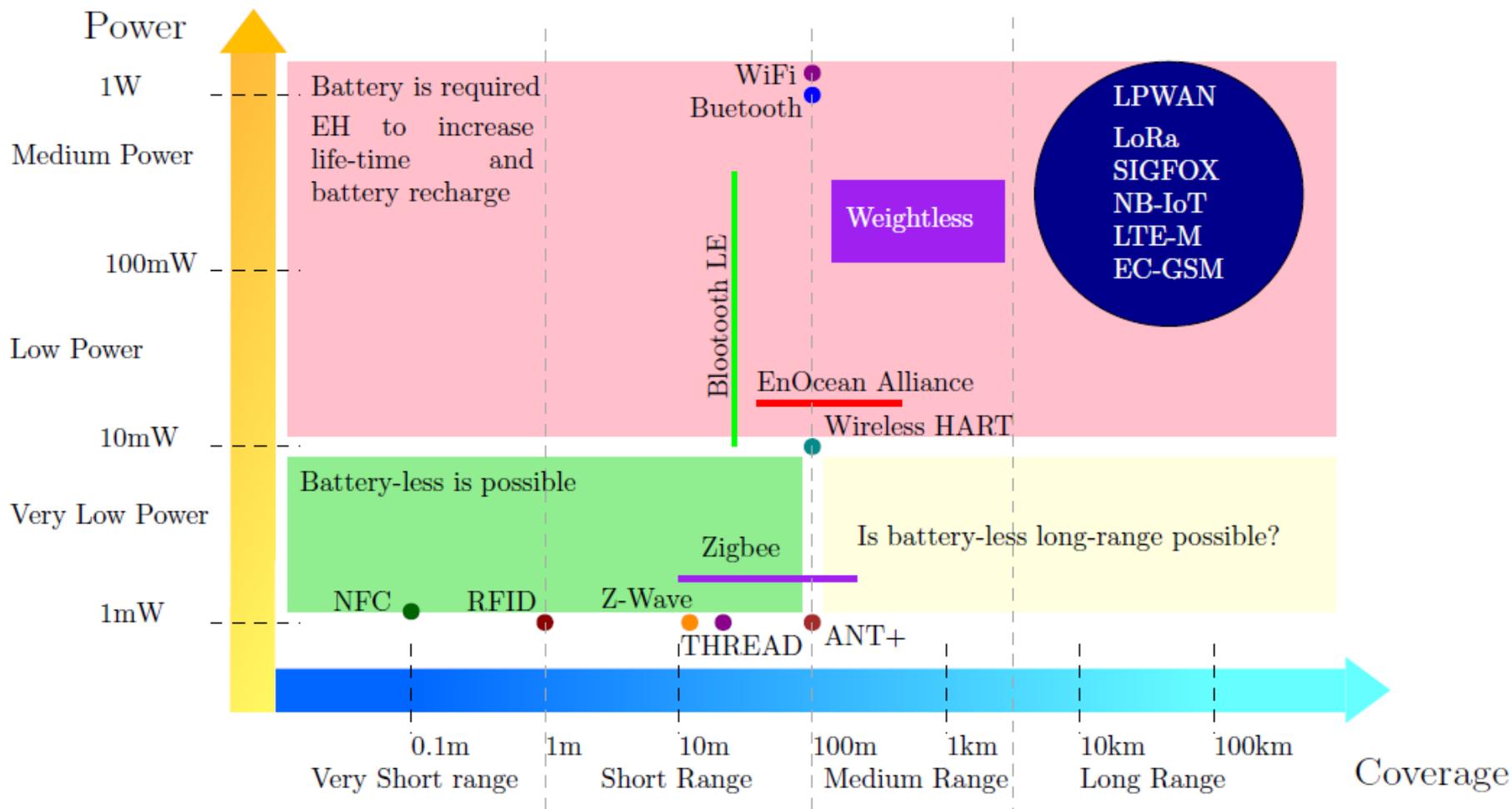
# 自己組織化エレクトレットを利用した 作製が容易な振動発電素子

千葉大学 先進科学センター

助教 田中 有弥



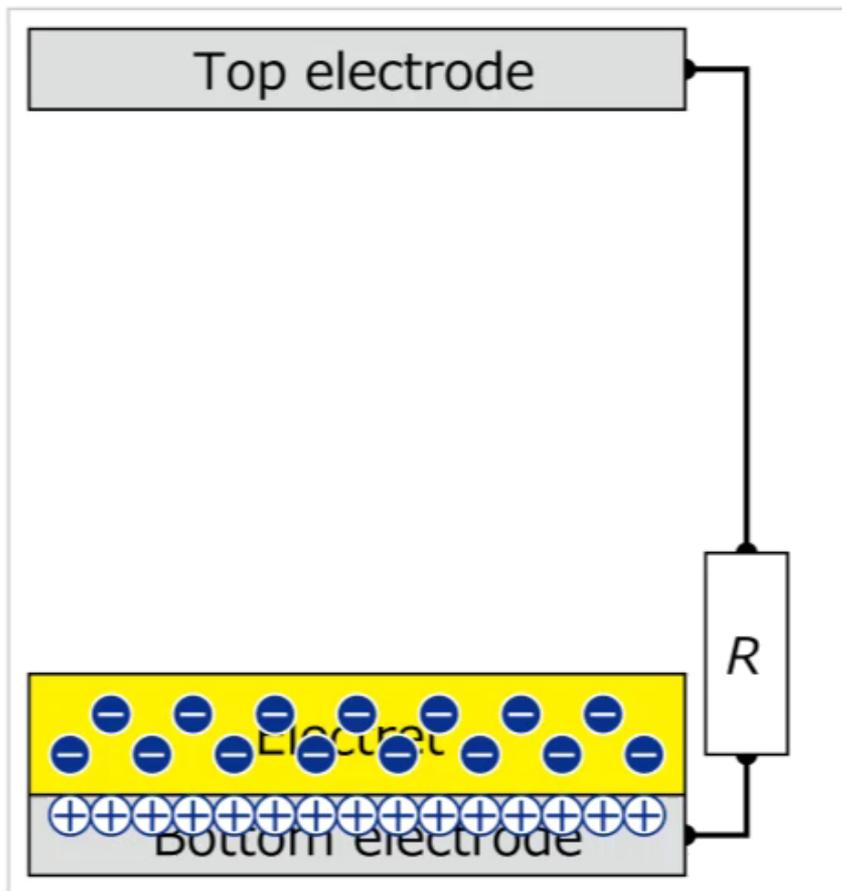
**新技術説明会**  
New Technology Presentation Meetings!



Power consumption versus coverage for different wireless technologies  
M. Shirvanimoghaddam et al., arXiv.org, 2017, <https://arxiv.org/abs/1712.02277>

## “環境発電技術” (Energy harvesting)

身の周りにおける光や熱、ラジオ波、振動等を使って電気エネルギーを得る技術

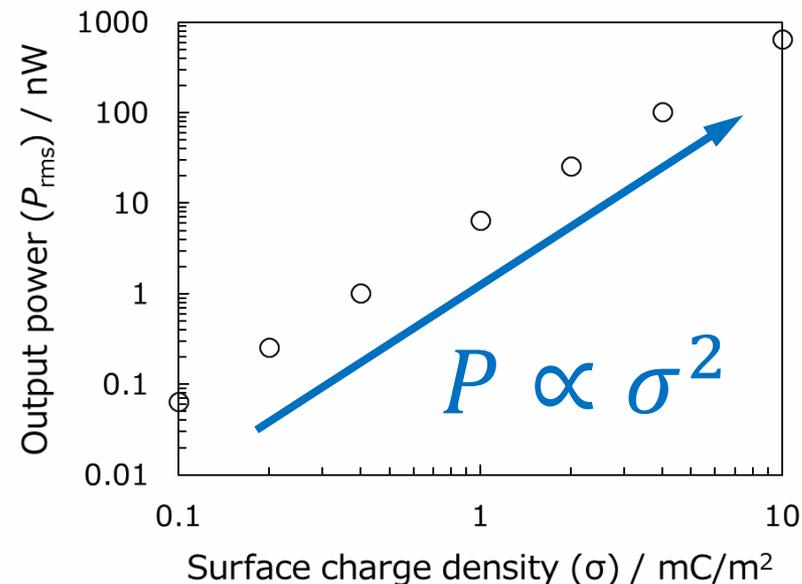


エレクトレット型振動発電素子 (VEG)  
(Vibrational energy generator)

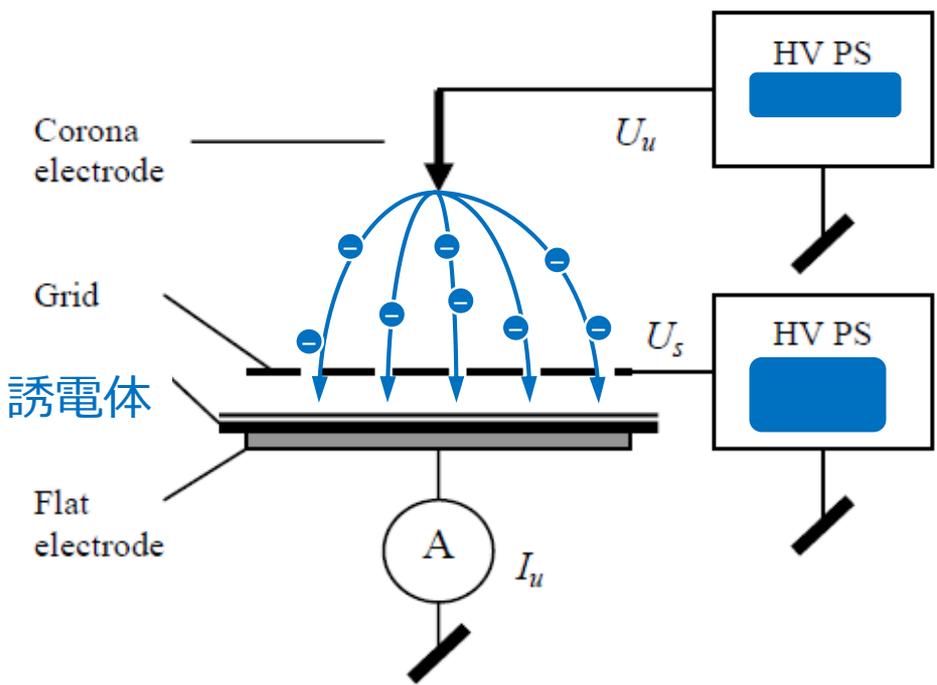
## エレクトレット:

半永久的に電荷もしくは電気分極を保持し、  
周囲に電界を形成する物質

Electrets Third Edition, (Laplacian Press, California, 1998).



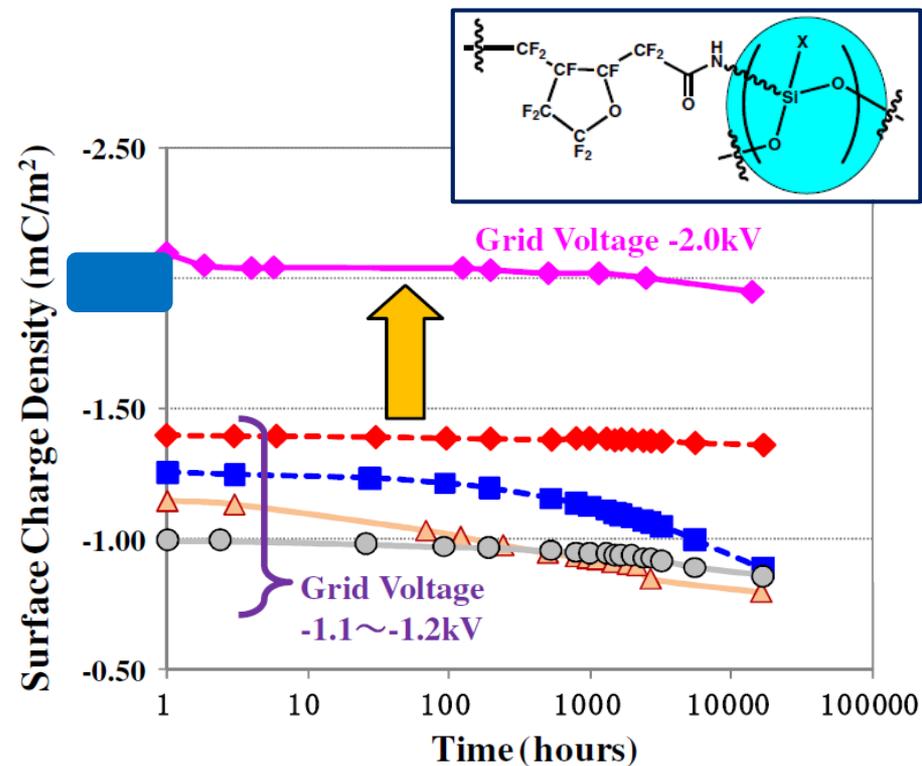
$\sigma$ はデバイスの出力を決定する極めて重要なパラメーター



コロナ荷電

IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. 13, 986 (2006).

生産性を下げる一つの要因

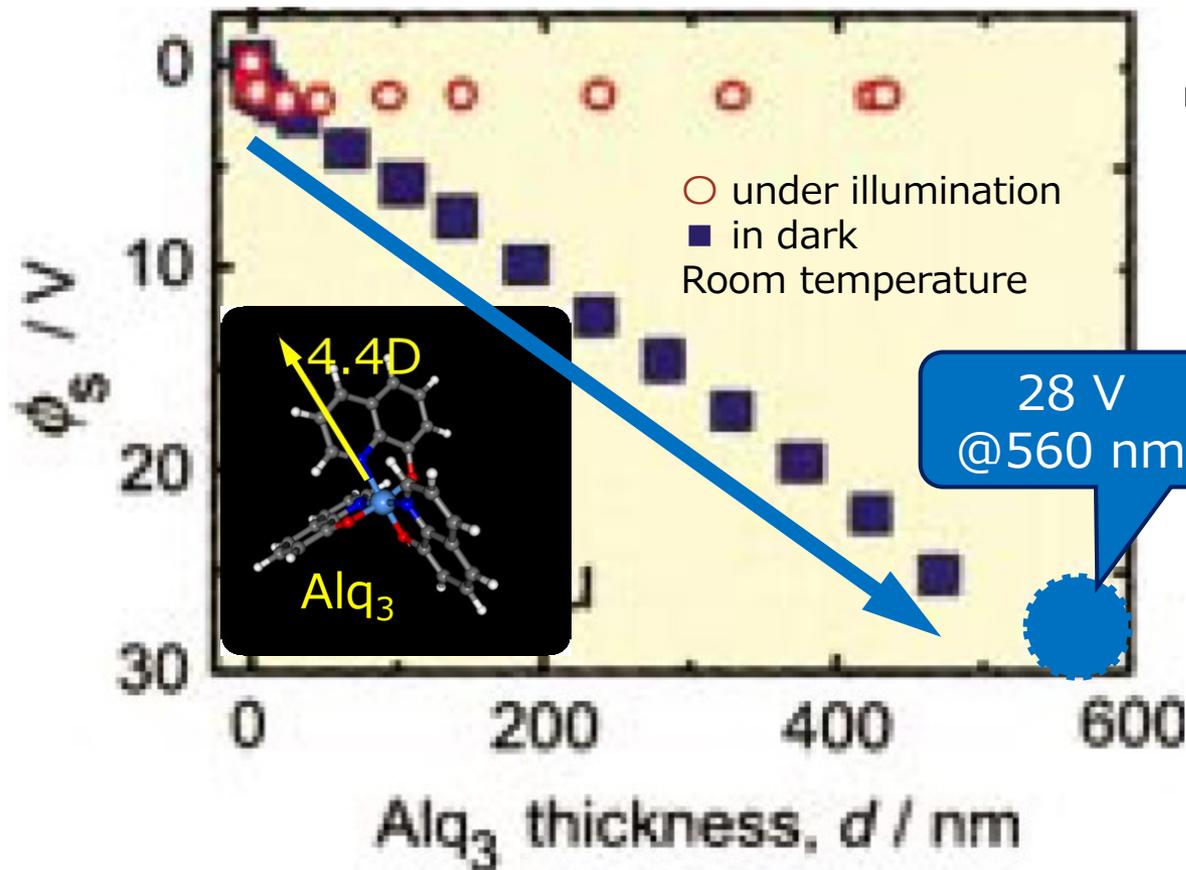


表面電荷密度の安定性

J. Micromech. Microeng. 21, 125016 (2011).

$$\sigma = 2.0 \text{ mC/m}^2$$

製造プロセスの簡易化が必要

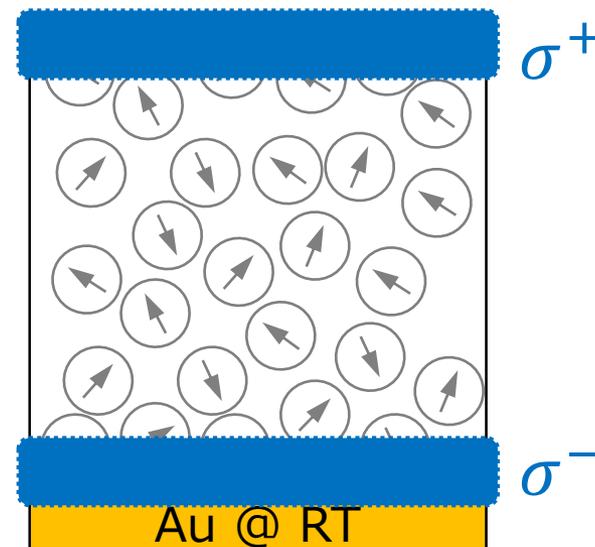


Thickness dependence of  $V_{SP}$  in Alq<sub>3</sub>

E. Ito et al., J. Appl. Phys. 92, 7306 (2002).

Second harmonic generation (SHG)

Manaka et al., Curr. Appl. Phys. 6, 877-881 (2006).

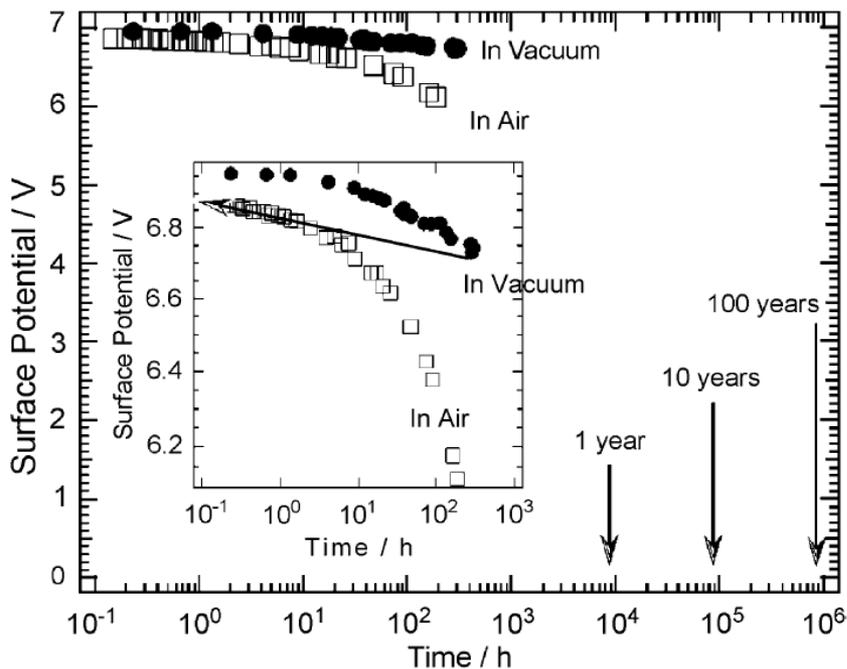


$$\sigma = 1.4 \text{ mC/m}^2$$

cf. polymer electret after corona charging ( $2.0 \text{ mC/m}^2$ )

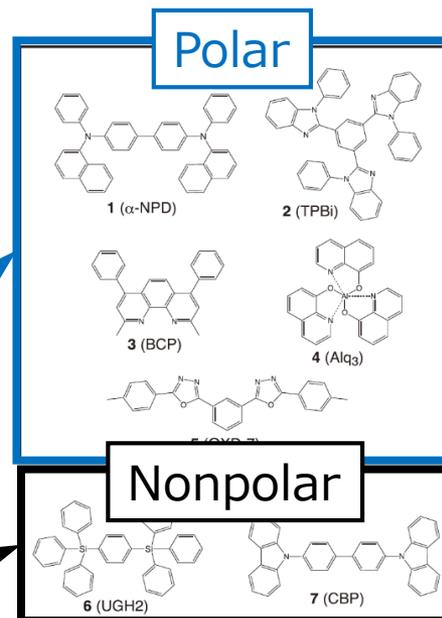
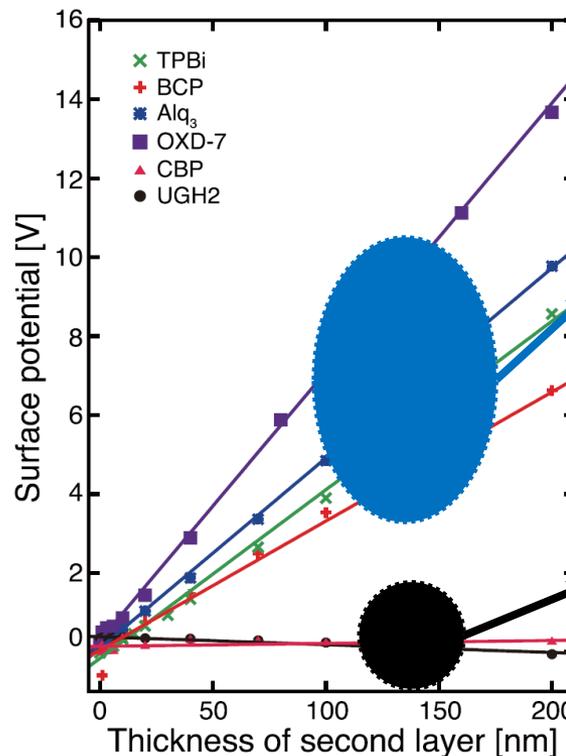
K. Kashiwagi et al.,  
J. Micromech. Microeng. 21, 125016 (2011).

薄膜表面に現れる巨大な表面電位はAlq<sub>3</sub>の自発的な配向に起因



K. Sugi et al., Thin Solid Films 464-465, 412 (2004).

GSP is stable in dark and vacuum.  
(ca. 10 years for 10% loss)

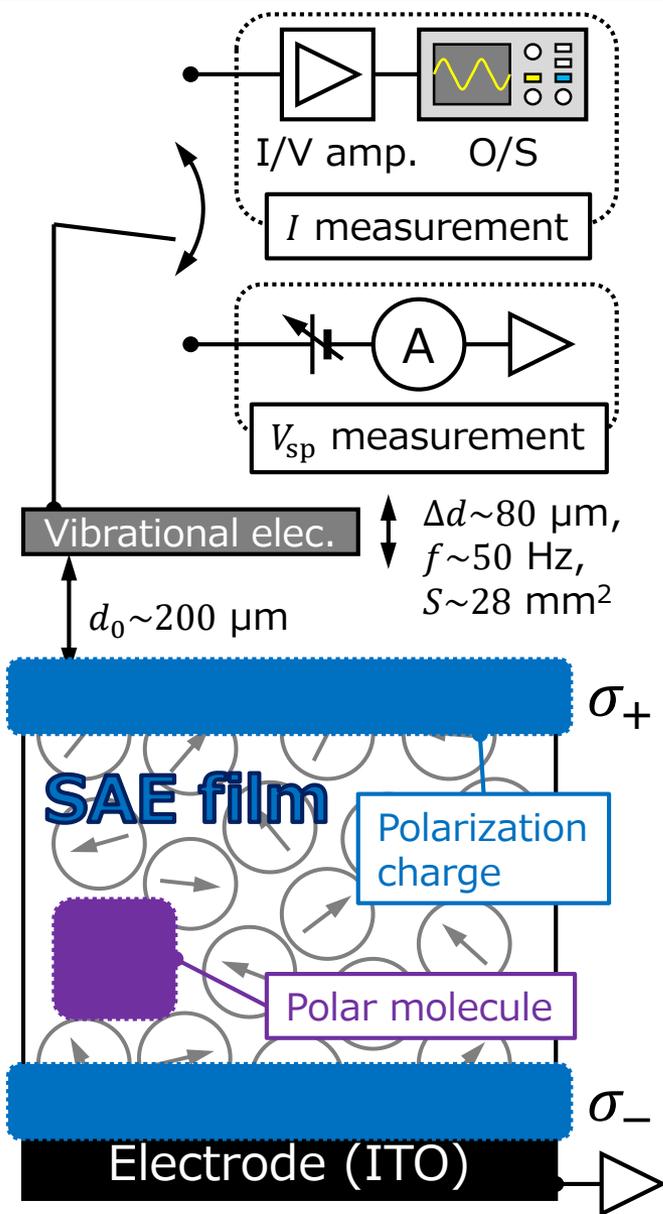


Y. Noguchi et al., J. Appl. Phys. 111, 114508 (2012).

GSP appears in various polar molecules.

GSPを発現する材料群:  
“自己組織化エレクトレット (self-assembled electret (SAEs))”

自己組織化エレクトレットを振動発電素子へ展開  
→製造プロセスが簡易で高性能な新規デバイスの実現

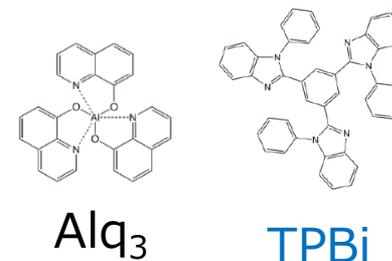


## 1. SAE thin film

- tris-(8-hydroxyquinolato) aluminium ( $\text{Alq}_3$ ), sublimed, Nippon Steel & Sumikin Chemical Co., Ltd.
- 1,3,5-tris(1-phenyl-1H-benzimidazol-2-yl)benzene (TPBi), sublimed, Luminescence Technology Corp.
- Vacuum deposition (base pressure:  $4 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ )
- Thickness: *ca.* 200 nm
- Deposition rate: *ca.* 0.1 nm/s

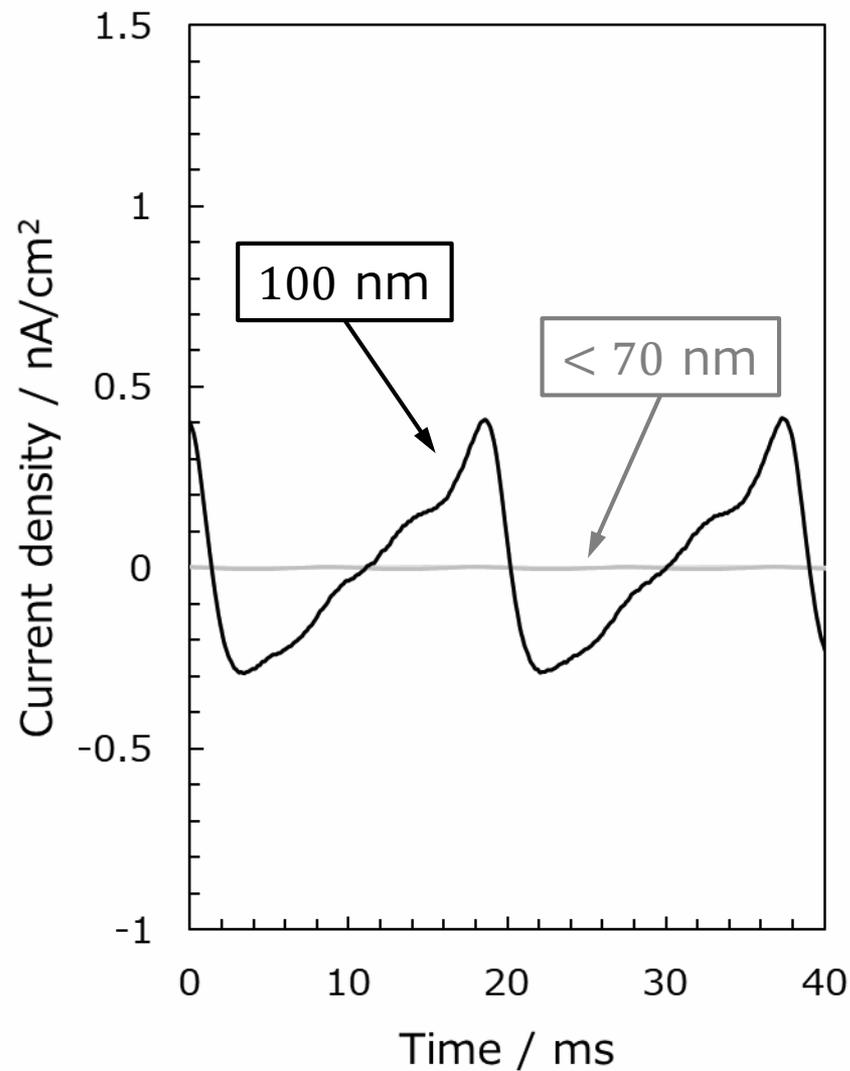
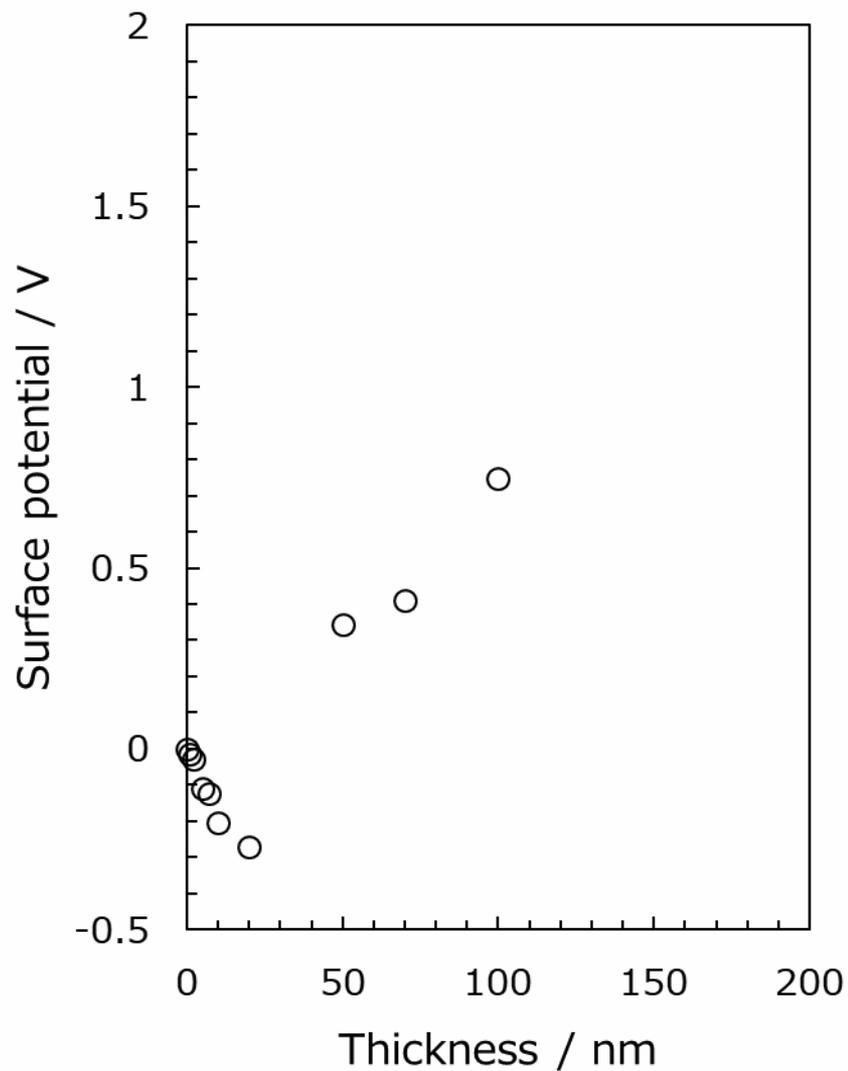
## 2. SAE-based modeled VEG

- Device area ( $S$ ):  $28.3 \text{ mm}^2$
- Distance ( $d_0$ ):  $216 \mu\text{m}$
- Displacement ( $\Delta d$ ):  $82 \mu\text{m}$
- Frequency ( $f$ ): 53 or 55 Hz

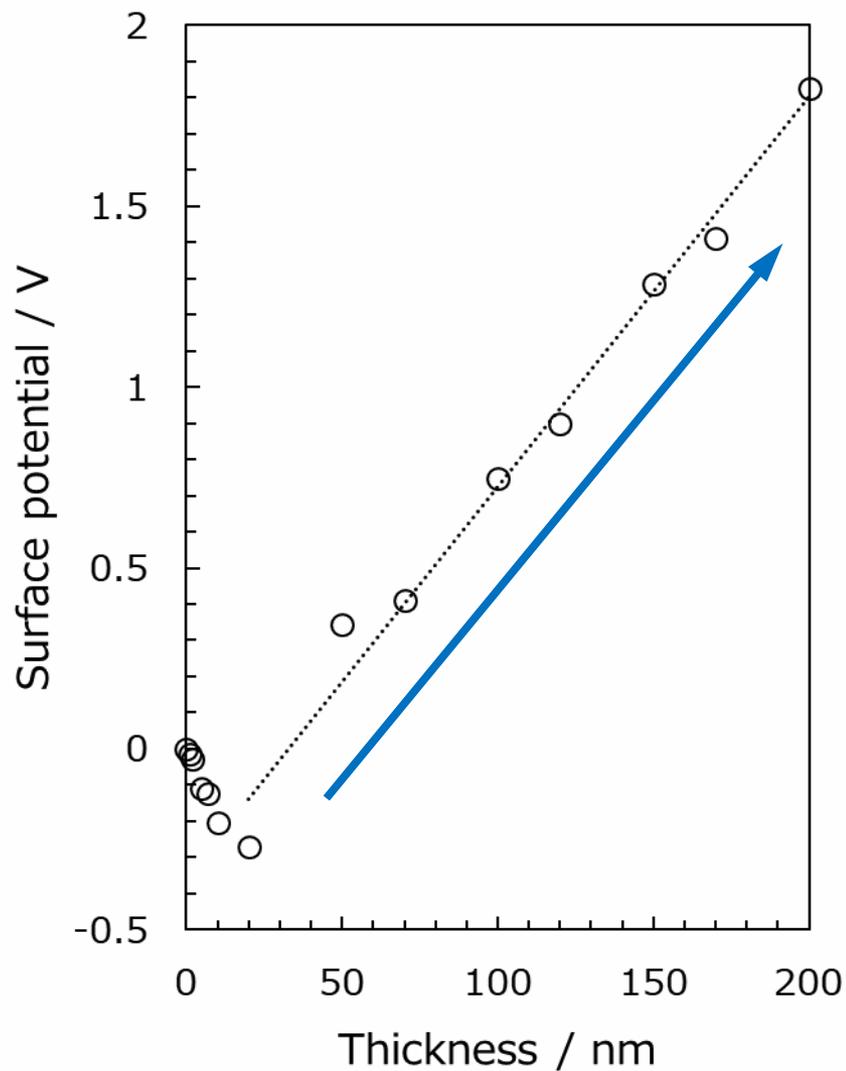


## 3. Measurements

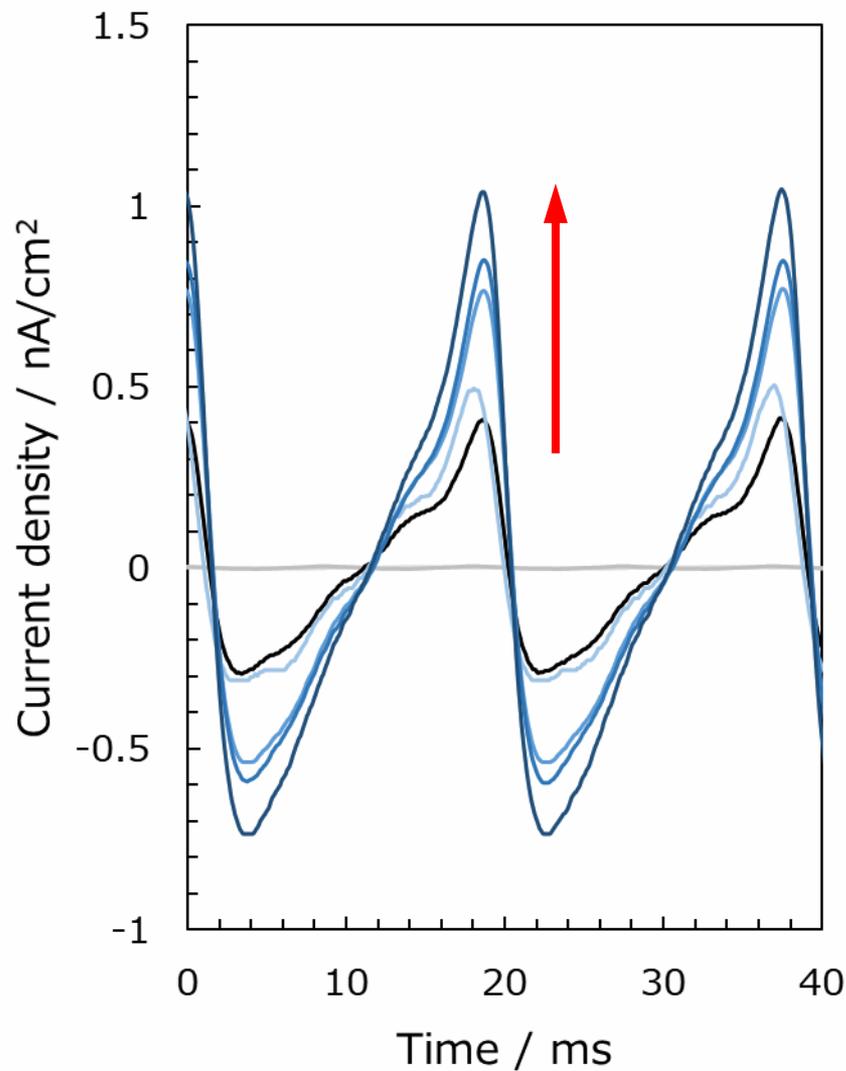
- I/V amplifier: SR570, SRS
- Oscilloscope (O/S): TDS 2001C, Tektronix
- Kelvin probe (KP): UHVKP020, KP Technology
- Light irradiation: MAX-350, Asahi Spectra



Alq<sub>3</sub>を用いることで、荷電処理を一切必要としないVEGが実現

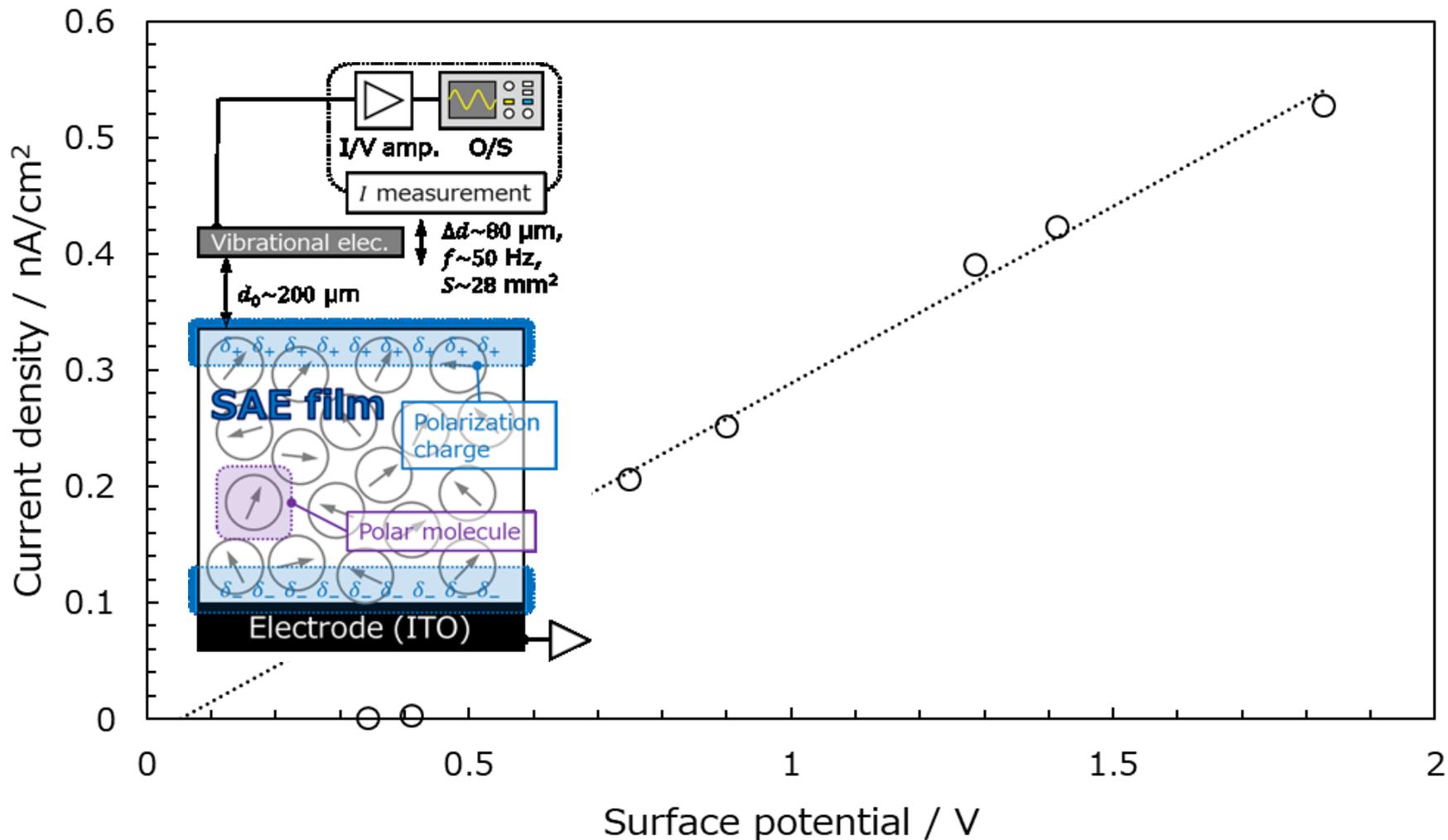


表面電位は膜厚に比例して増加



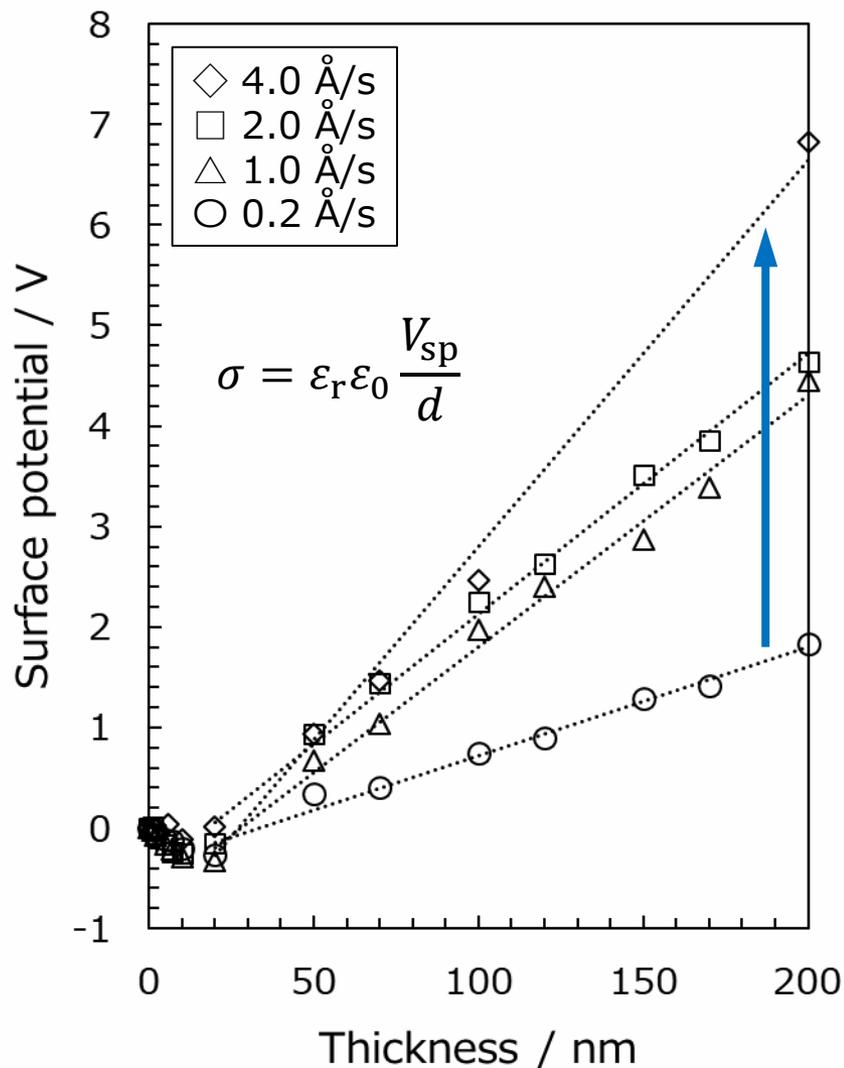
電流は膜厚に伴い増加

# 発生電流（実効値）と表面電位の関係

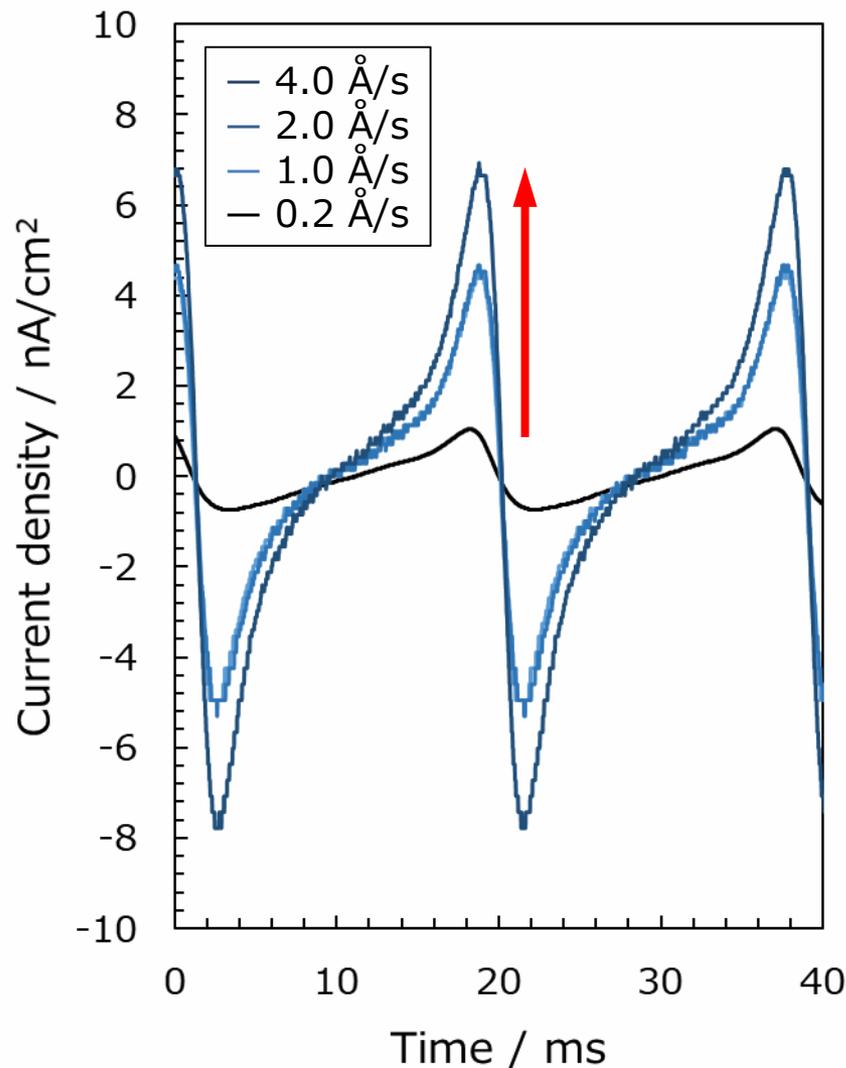


発生電流は表面電位に比例

Alq<sub>3</sub>-VEGはAlq<sub>3</sub>の表面電位によって駆動

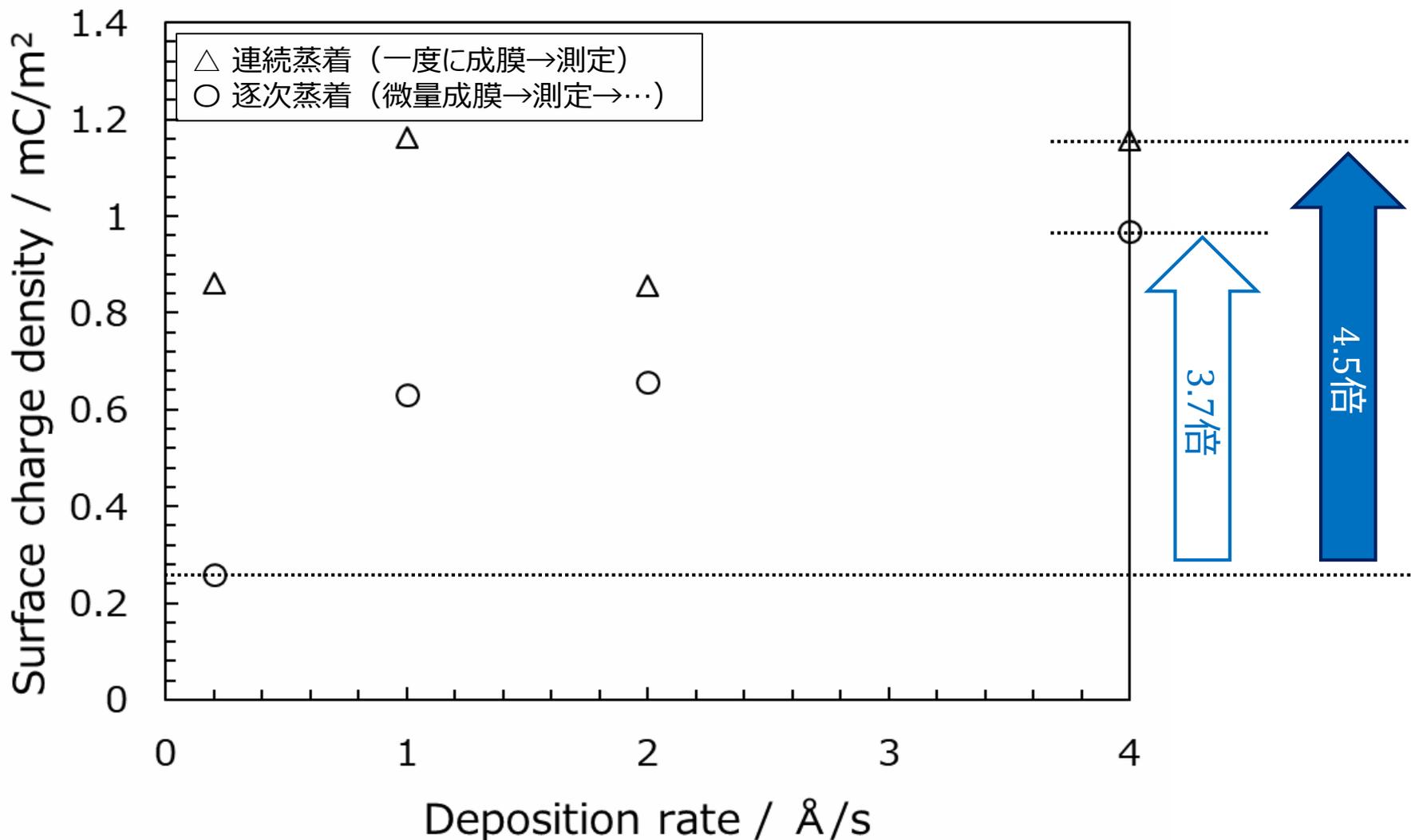


表面電位は蒸着速度に伴い増加

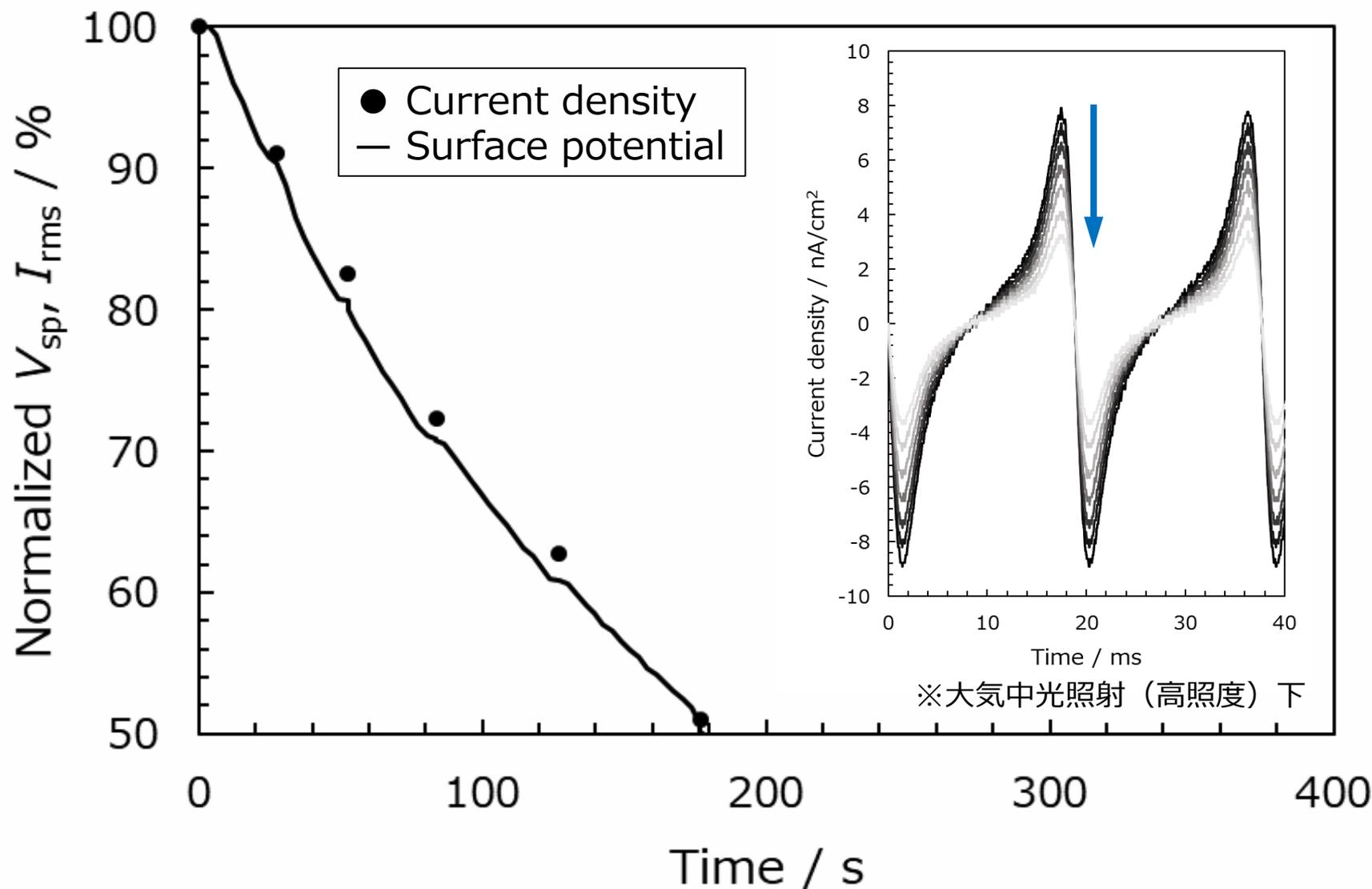


発生電流も同様

蒸着速度を上げることで、Alq<sub>3</sub>-VEGの性能が向上



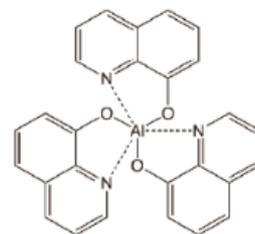
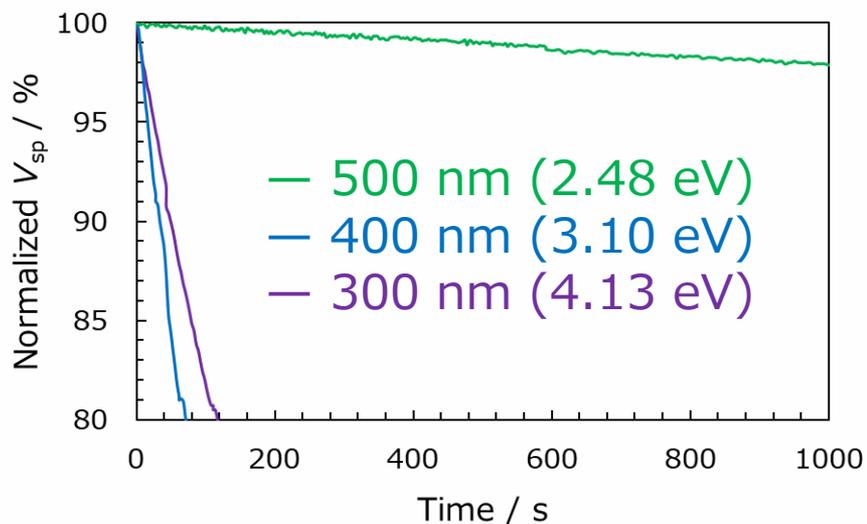
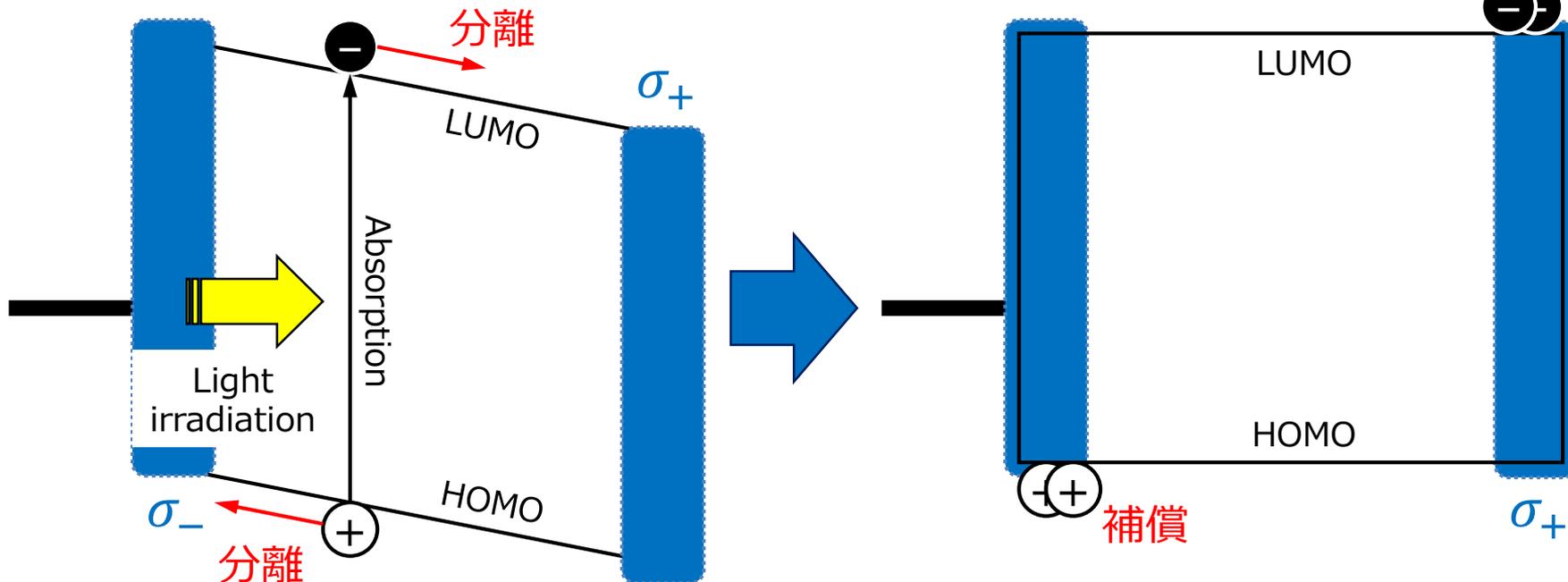
連続蒸着で蒸着速度を上げることで、素子の性能がさらに向上



大気中光照射下では，表面電位と発生電流が時間とともに減少

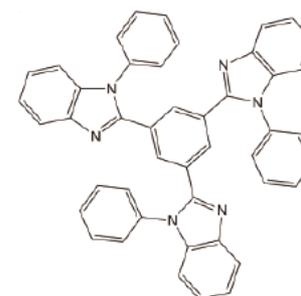
# 表面電位減少の起源

E. Ito et al., J. Appl. Phys. 92, 7306 (2002).



Alq<sub>3</sub>

$E_{opt} = 2.8 \text{ eV}$  [1]



TPBi

$3.5 \text{ eV}$  [2]

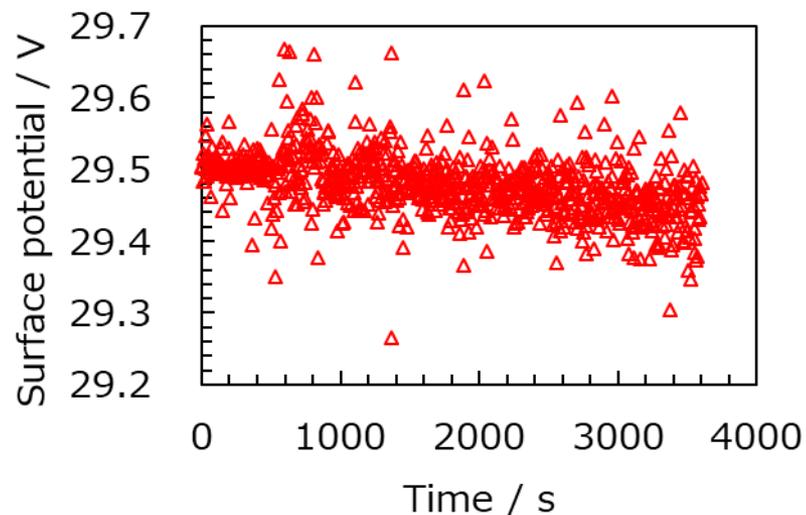
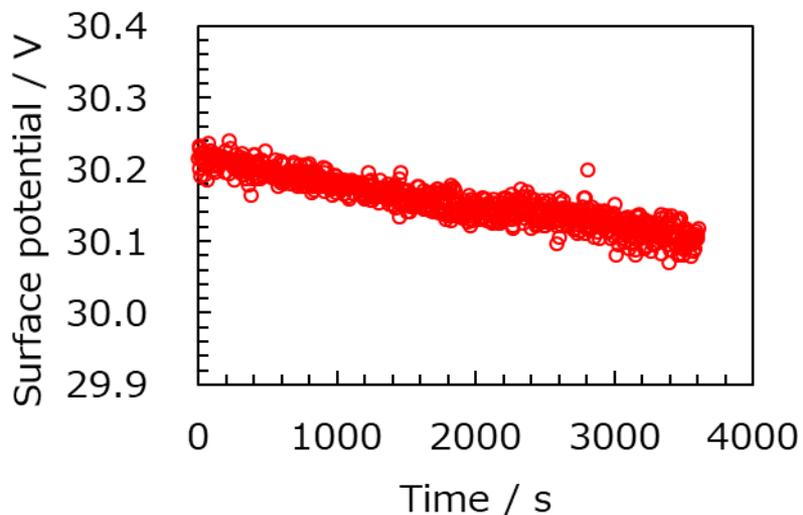
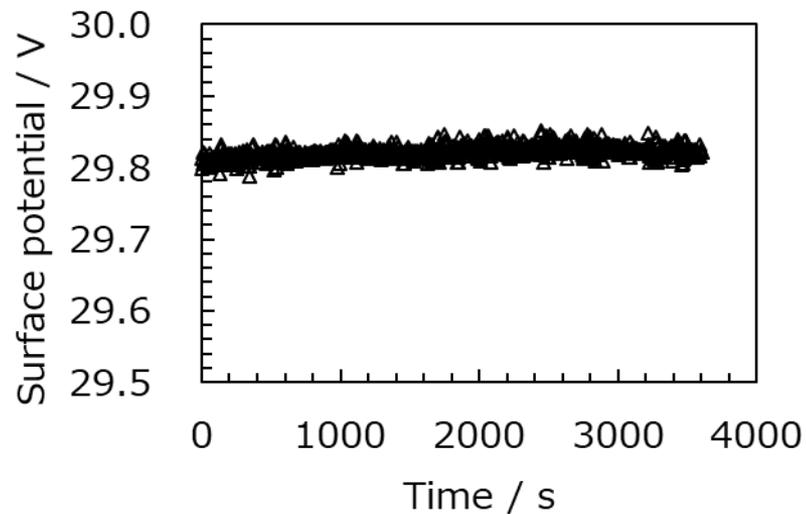
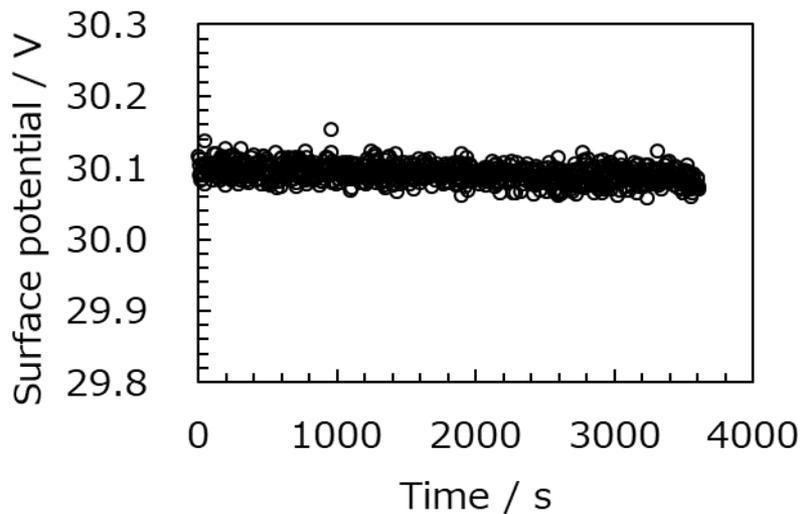
[1] Dalasiński, OM, 2006. [2] Gao, APL, 1999.13

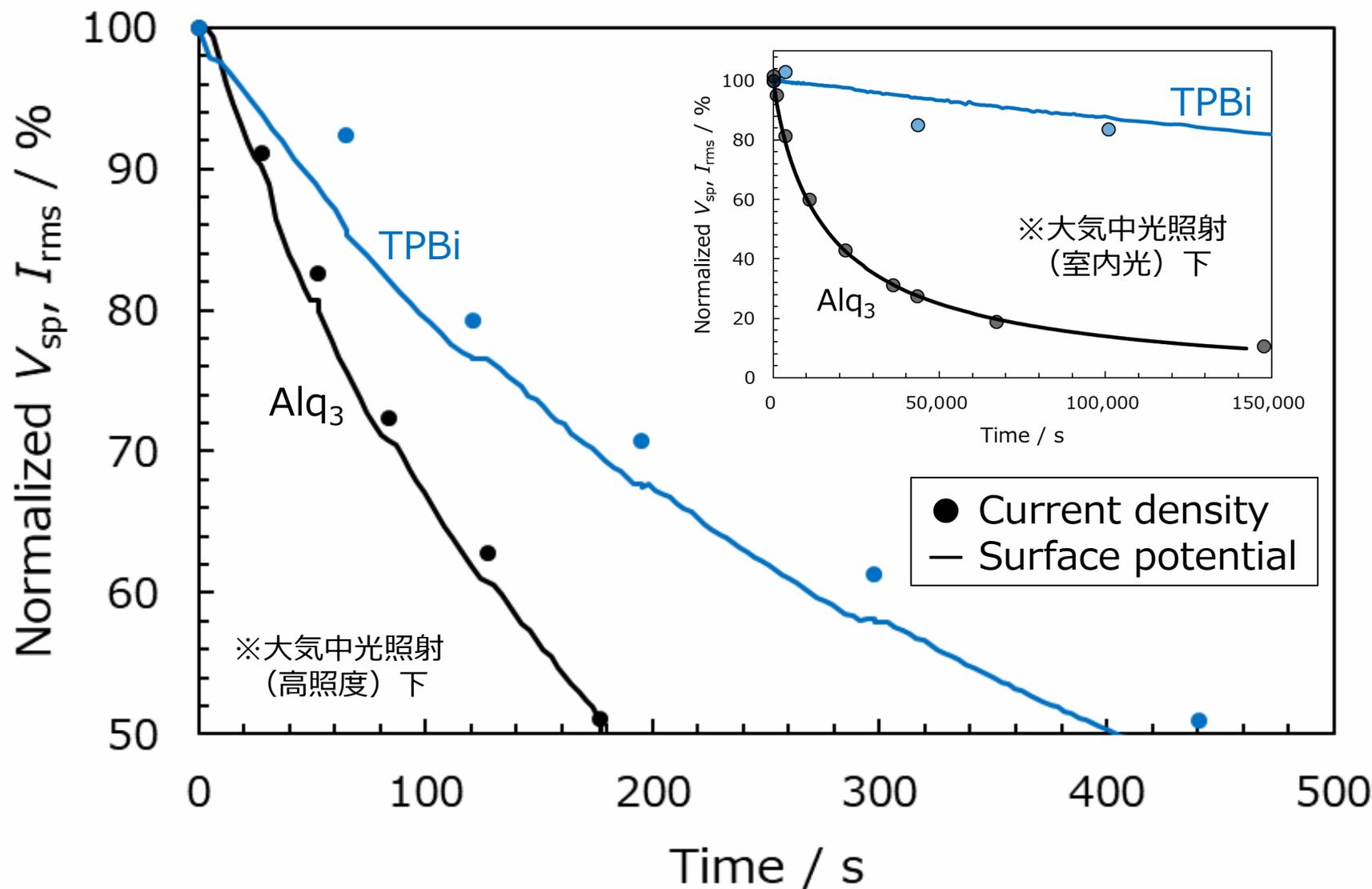
# TPBi薄膜の表面電位の環境安定性

真空中

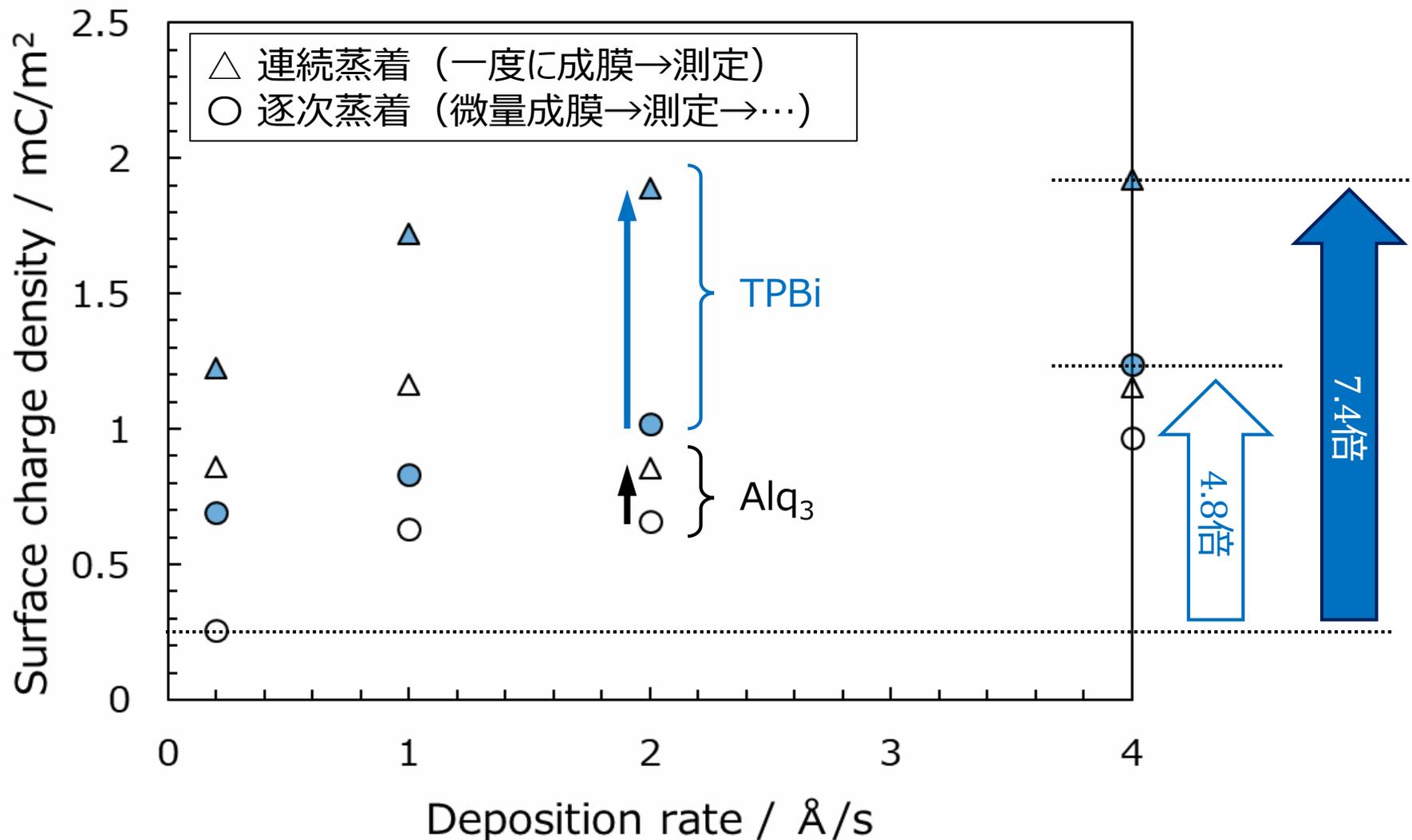
大気中

暗状態

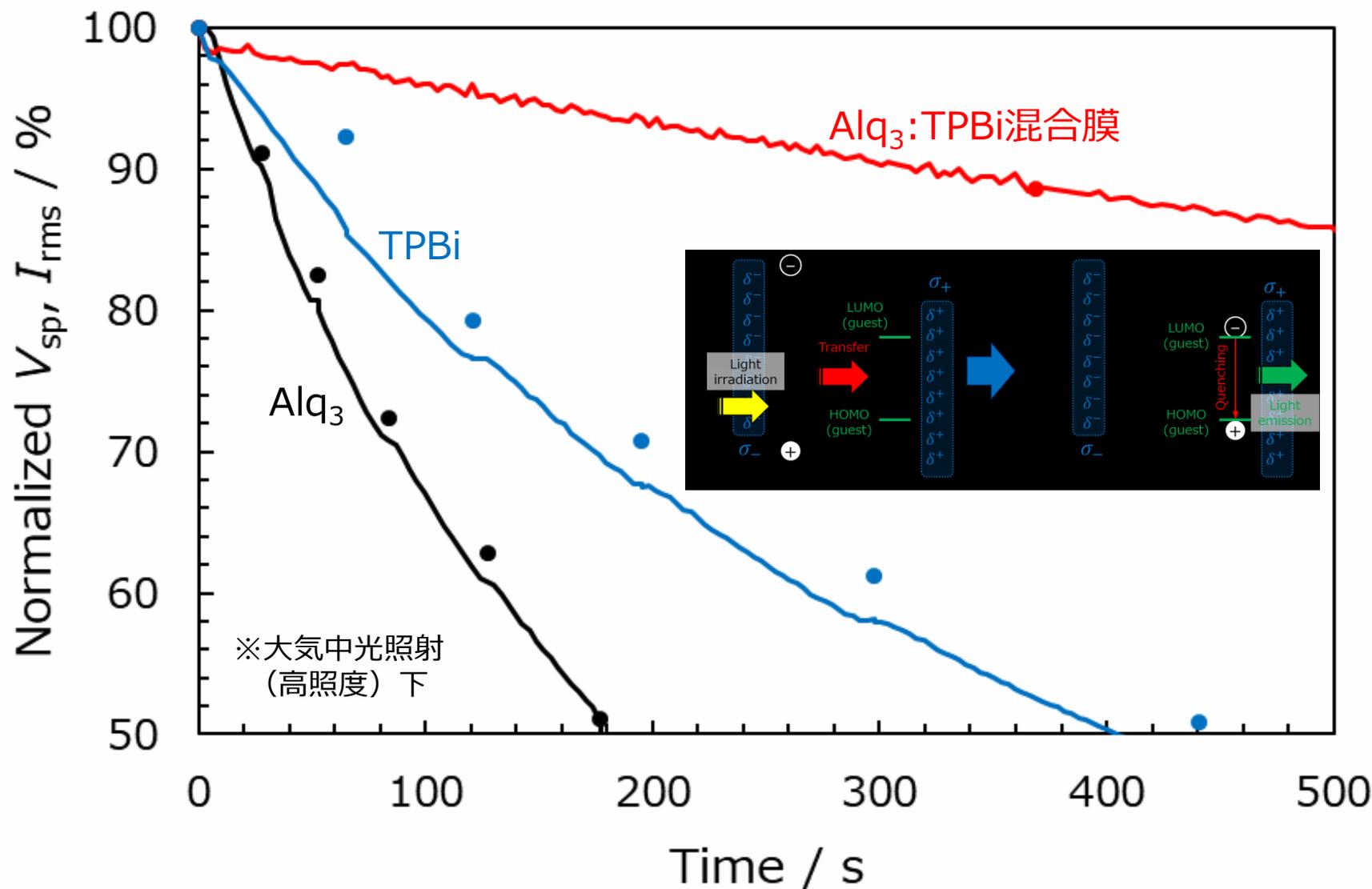




ワイドギャップ材料であるTPBiを用いることで長寿命化を実現



TPBiの方がAlq<sub>3</sub>よりも表面電荷密度は高く、  
コロナ荷電したポリマーエレクトレットとほぼ同等

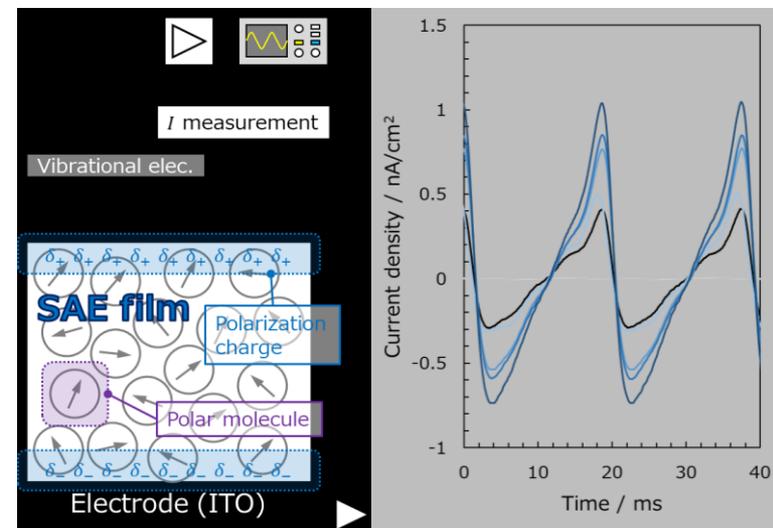


混合薄膜を用いることで、さらなる長寿命化を実現

自己組織化エレクトレットを振動発電素子のエレクトレットとして使用

→荷電処理を一切必要としない発電デバイスを実現

*Y. Tanaka, under review*



自己組織化エレクトレット (SAE) の利用  
従来開発の延長線上にない, 新たな素子の設計指針  
→製造プロセスが簡易で高性能なデバイスの実現へ

## 実用化に向けた課題

- 高表面電荷密度化, 長寿命化
- 成膜プロセス (真空蒸着では低コスト化が比較的難)
- 実用化を視野に入れたデバイス構造の提案と試作

## • 新規材料開発

ワイドギャップ材料，大きなダイポールモーメントを持つ材料等．

## • 新規成膜プロセス開発

塗布プロセス，印刷プロセス等．

## • デバイス化

モデル素子ではない，実用化を視野に入れたデバイスの提案と作製

## • ニーズ調査，応用先の検討

ボタン電池の代替や長寿命化．

→ 応用先は極めて広いが，そのせいで的を絞り切れていない．的によってVEGの構造や要求仕様が大きく変わるので，ニーズの調査は極めて重要（※SAEは多種多様な構造のVEGに適用可能）．

## 1.知的財産①

- 発明の名称： 振動発電器及びエレクトレット
- 出願番号： 特願2018-159860
- 出願人： 千葉大学
- 発明者： 田中有弥，石井久夫，松浦寛恭

## 2.知的財産②

- 発明の名称： 振動発電素子
- 出願番号： 特願2019-159370
- 出願人： 千葉大学
- 発明者： 田中有弥，石井久夫，松浦寛恭

千葉大学 先進科学センター

助教 田中 有弥

TEL : 043 - 290 - 3960

FAX : 043 - 290 - 3523

E-mail: [y-tanaka@chiba-u.jp](mailto:y-tanaka@chiba-u.jp)

千葉大学 産業連携研究推進ステーション

産学官連携コーディネーター 山中 功

TEL : 043 - 290 - 3833

FAX : 043 - 290 - 3519

E-mail: [ccrcu@faculty.chiba-u.jp](mailto:ccrcu@faculty.chiba-u.jp)