



エレクトロウェットिंगを利用 した壁面上液滴の移動制御

© Osaka Metropolitan University All Rights Reserved.

大阪公立大学 大学院工学研究科 機械系専攻
教授 加藤健司

9 産業と技術革新の
基盤をつくろう



2022年11月1日

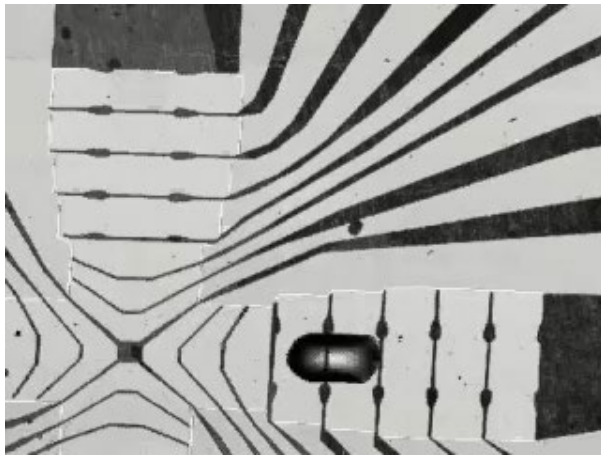
壁面上の液滴移動制御技術:

化学工学, 薬学, マイクロフルーディクス etc. → 液滴の移動, 分離, 混合などへの利用を目指し, 種々の手法が提案されている.

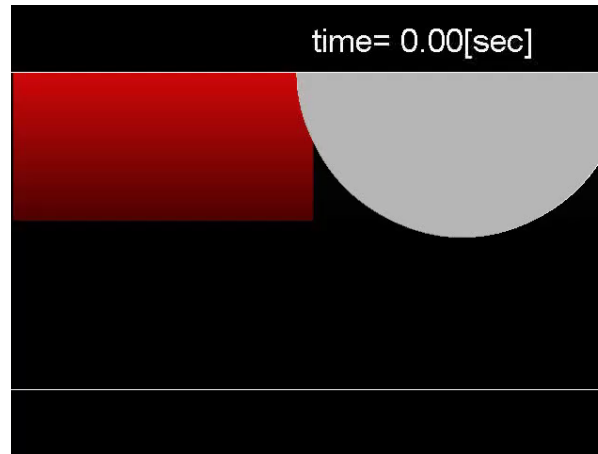
エレクトロウェットティング (EWOD : Electro Wetting On Dielectric)

制御が容易. 低電力. → 電子ペーパー, 凝縮器, 液滴ポンプ などへの応用

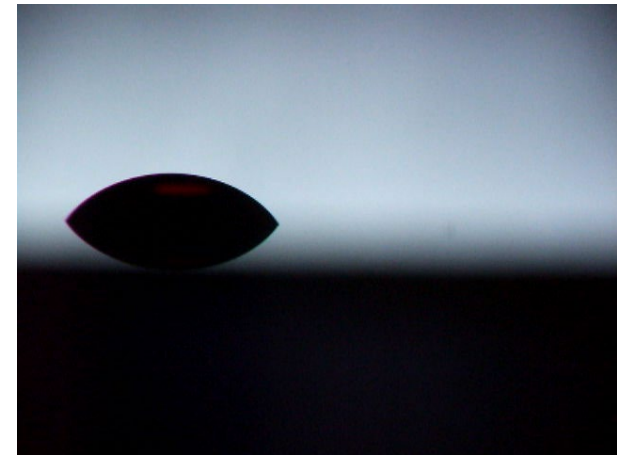
従来の手法例



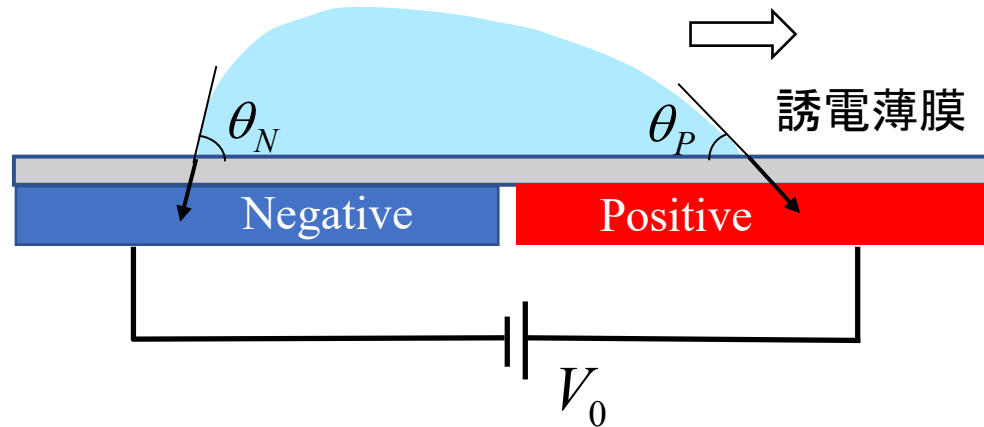
① 電極加熱



② エレクトロウェットティング
(数値計算)



③ レーザー照射



- ・誘電薄膜(絶縁膜)を施した正負電極に電圧を印加すると, EWODの効果により液滴の接触角 θ が減少する(ヤングーリップマン方程式).
- ・液滴には表面張力 σ の接線力 $\sigma\cos\theta$ が作用するが, 付着面積の小さい側の接触角がより小さくなるため, その方向に液滴は移動する.

ヤングーリップマン 方程式:

$$\cos \theta_P = \cos \theta_0 + \frac{CV_P^2}{2\sigma}$$

$$\cos \theta_N = \cos \theta_0 + \frac{CV_N^2}{2\sigma}$$

$$V_P = V_0 \frac{S_N}{S_P + S_N}$$

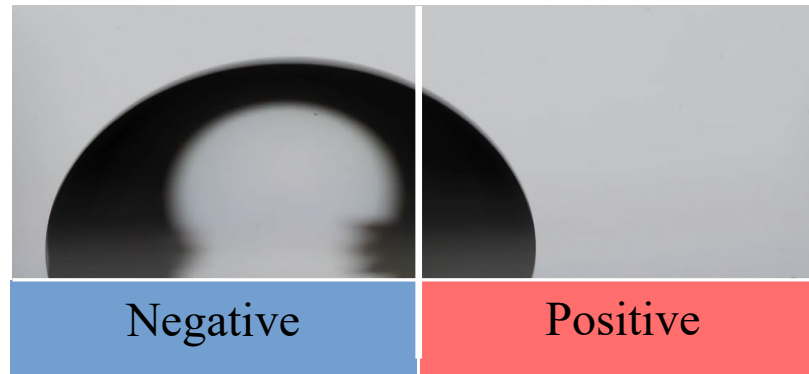
$$V_N = V_0 \frac{S_P}{S_P + S_N}$$

θ_0 : 元の接触角

C : 静電容量

σ : 表面張力

S_P, S_N : 付着面積



EWODによる液滴駆動

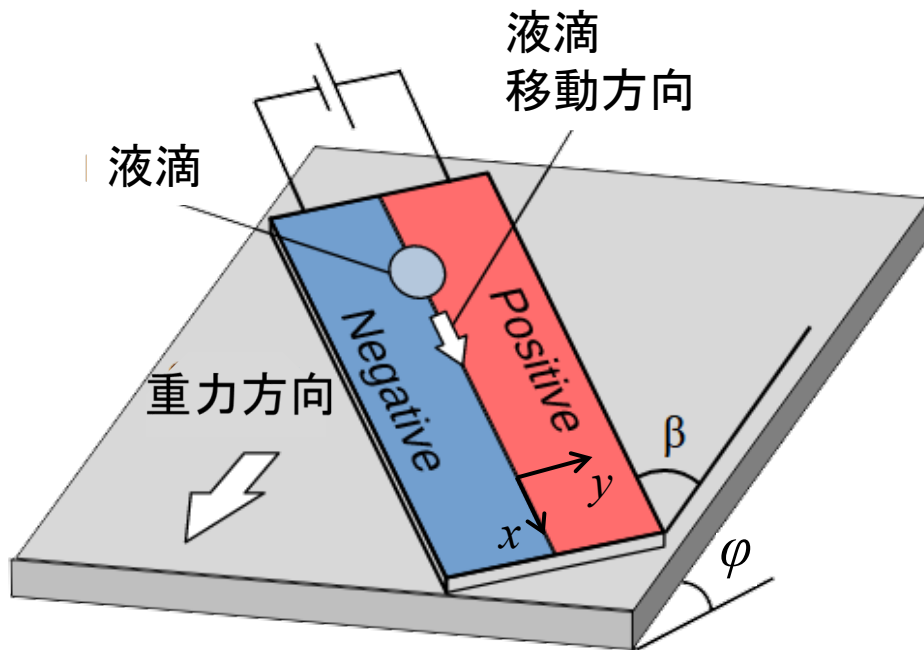
EWOD技術の課題:

付着面積が等しくなると($S_p=S_N$)平衡状態となり, 液滴は静止.
→連続的な駆動には, 装置や基板の構造に工夫が必要となる.
また, 自由度の高い移動制御は困難である.

提案技術の特長:

重力を駆動力に用い, EWODを制御力とすることで, 自由度の高い液滴駆動制御を実現できる.

電極基板を傾けて設置することで, EWODによる力を斜め上方に働かせることができる. →電極境界に沿った移動が可能



基準装置

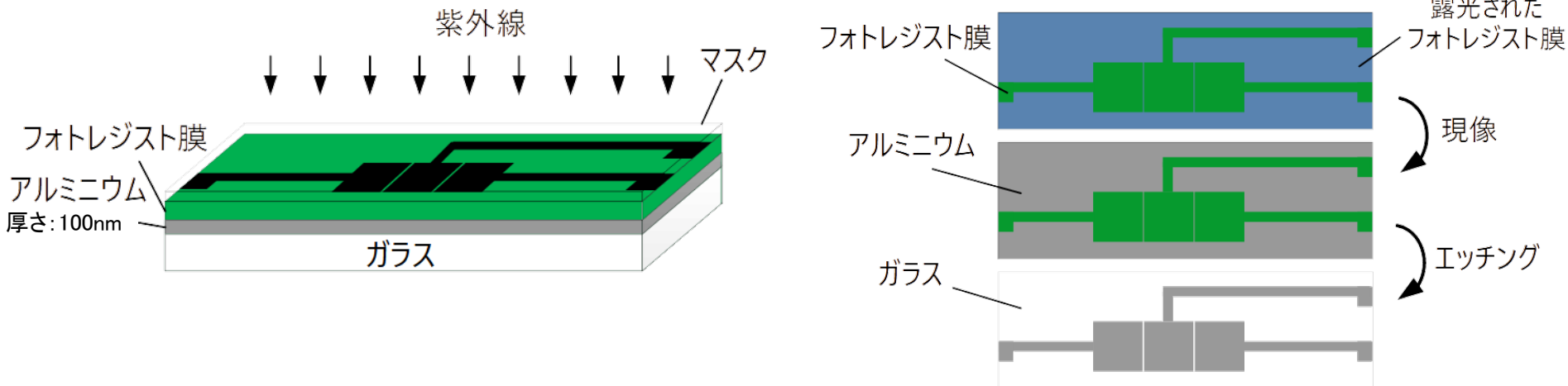
φ : 基板傾斜角
 β : 面内重力方向からの偏向角度

基板: AL薄膜付きガラス基板
誘電薄膜: "Cytop"
(AGC社製アモルファス・フッ素樹脂)
静的前進接触角: $\theta_A = 104.8^\circ$
静的後退接触角: $\theta_R = 98.8^\circ$

電極作製方法

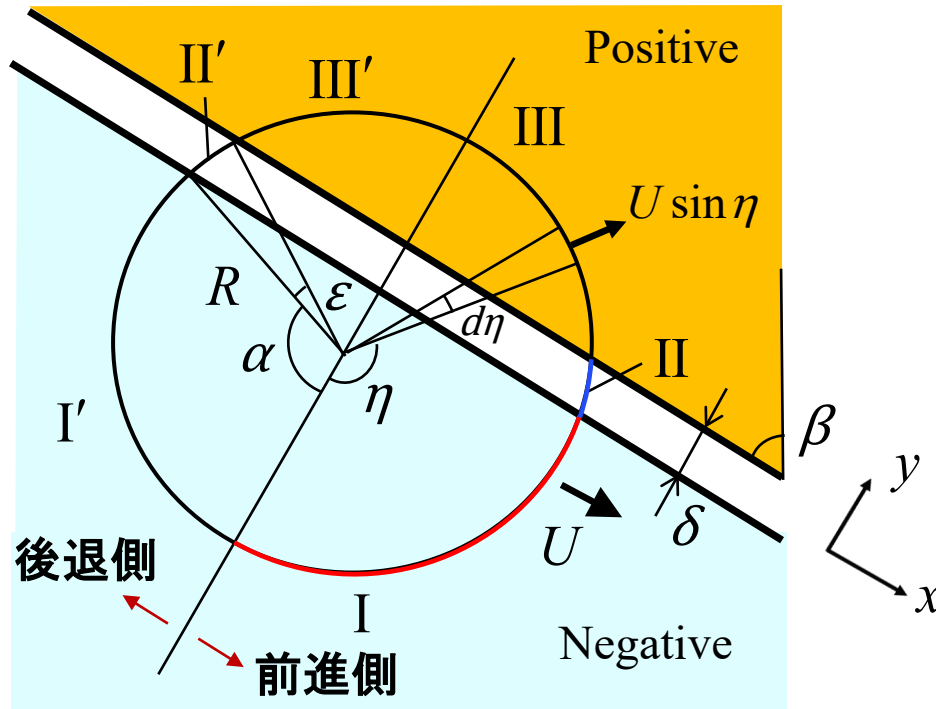
表面にアルミニウム薄膜が蒸着されたガラス基板を使用。

フォトリソエッチングにより電極を作成 ➡ 自由度の高いパターンニングが可能



誘電薄膜作製方法

Cytop (AGC社製) 溶液から基板を垂直に引き上げることで製膜 (ディップコート法). 膜厚はCytop濃度により調整可能 (膜厚: 100~1000nm).



α : 陰極半中心角
 ε : 電極境界中心角

各領域の接触角(例):

領域I $0 \leq \eta \leq \alpha$:
$$\cos \theta_I = \cos \theta_A + \frac{CV_0^2}{2\sigma} \left(\frac{S_P}{S_P + S_N} \right)^2 - \frac{k \sin \theta_A}{3 \theta_A^2} \frac{\mu U \sin \eta}{\sigma}$$

領域II $\alpha < \eta \leq \alpha + \varepsilon$:
$$\cos \theta_{II} = \cos \theta_A - \frac{k \sin \theta_A}{3 \theta_A^2} \frac{\mu U \sin \eta}{\sigma}$$

x方向つり合い:

$$\underbrace{\rho g \Gamma \sin \varphi \cos \beta}_{\text{重力 (}\Gamma: \text{体積)}} - \underbrace{2R\sigma (\cos \theta_R - \cos \theta_A)}_{\text{静的表面張力抵抗}} - \underbrace{\frac{\pi}{6} k \mu U R \left(\frac{\sin \theta_A}{\theta_A^2} + \frac{\sin \theta_R}{\theta_R^2} \right)}_{\text{動的ぬれの抵抗}} - \underbrace{F_V}_{\text{粘性力}} = 0$$

重力(Γ: 体積) 静的表面張力抵抗 動的ぬれの抵抗 粘性力

* EWODの効果は前後対称となり, x方向には作用しない.

速度 $U=0$ の場合 (動的ぬれ, 粘性力=0): $\rho g \Gamma \sin \varphi \cos \beta - 2R\sigma (\cos \theta_R - \cos \theta_A) = 0$


 臨界転落体積 $\therefore \Gamma_C = \frac{2R\sigma (\cos \theta_R - \cos \theta_A)}{\rho g \sin \varphi \cos \beta}$
 φ : 基板傾斜角

基板境界方向への重力が表面張力抵抗より大きくなる Γ_C 以上の体積で液滴は転落可能.

y方向つり合い:

$$\underline{-\rho g \Gamma \sin \varphi \sin \beta} + CV_0^2 R \left[\left(\frac{S_N}{S_P + S_N} \right)^2 \sin(\alpha + \varepsilon) - \left(\frac{S_P}{S_P + S_N} \right)^2 \sin \alpha \right] = 0$$

電極境界法線方向重力

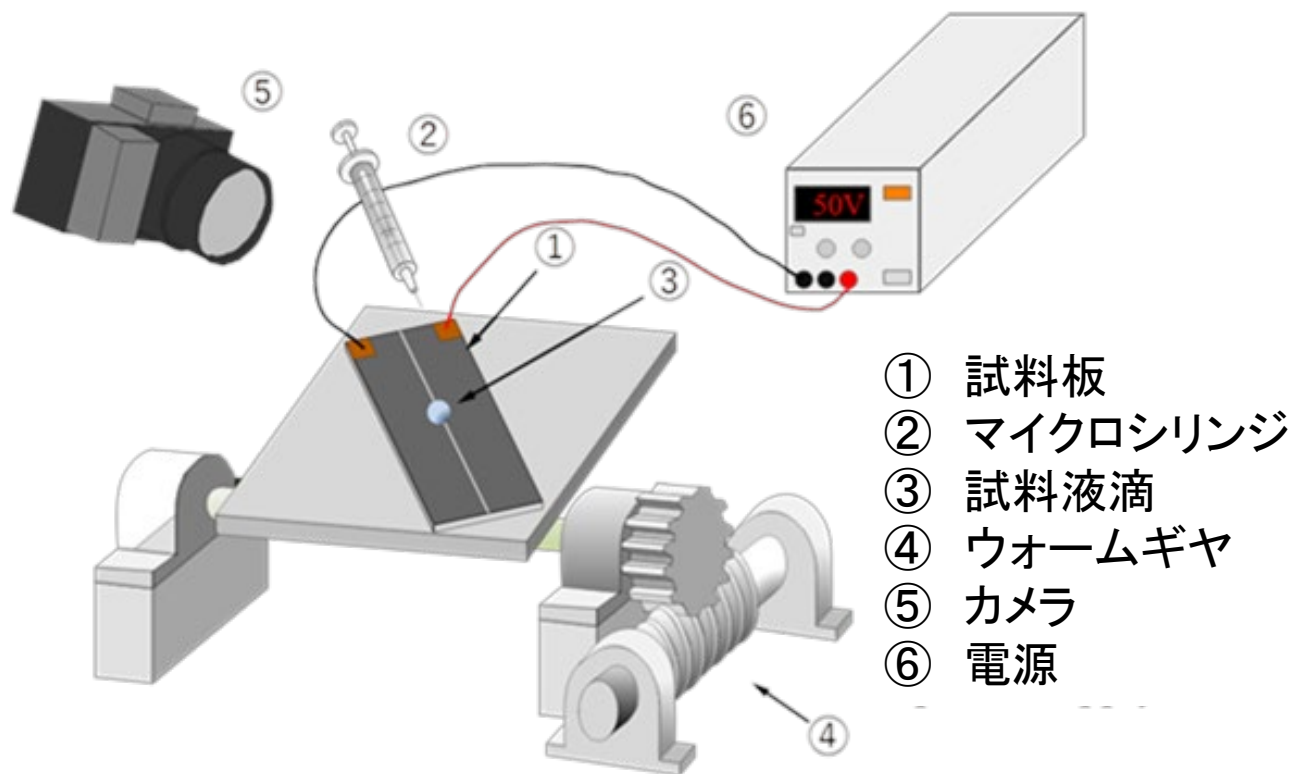
EWODの効果

$$S_P = \left[\pi - \alpha - \varepsilon + \sin(\alpha + \varepsilon) \cos(\alpha + \varepsilon) \right] \left[\frac{3\Gamma}{2\pi} \right]^{2/3} \quad S_N = \left(\alpha - \sin \alpha \cos \alpha \right) \left[\frac{3\Gamma}{2\pi} \right]^{2/3}$$

正負電極上の付着面積 S_P , S_N の最適値に対し, Γ の最大値が存在する。

$$\Gamma_{\max} = \frac{CV_0^2 R \left[\left(\frac{S_N}{S_P + S_N} \right)^2 \sin(\alpha + \varepsilon) - \left(\frac{S_P}{S_P + S_N} \right)^2 \sin \alpha \right]}{\rho g \sin \varphi \sin \beta}$$

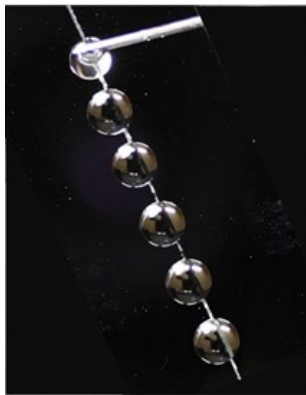
体積 $\Gamma_{\max}$ まで, 液滴は傾斜角 β の電極境界に沿って転落できる.



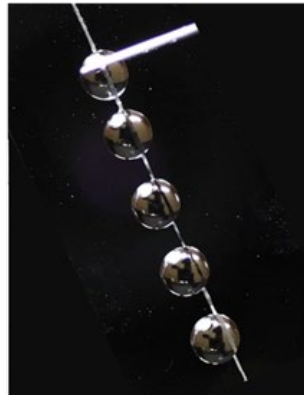
実験装置概要

液滴: グリセロール80%水溶液 ($\sigma = 66.5 \text{ mN/m}$, $\rho = 1211 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 0.058 \text{ Pa} \cdot \text{s}$)

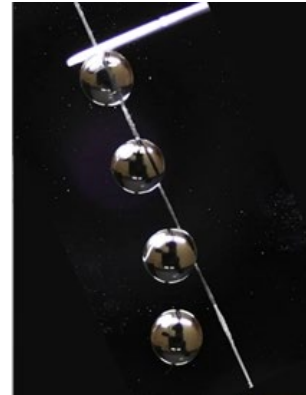
偏向角 $\beta = 25^\circ$, 電圧 $V_0 = 40V$



(a) 35 μ L

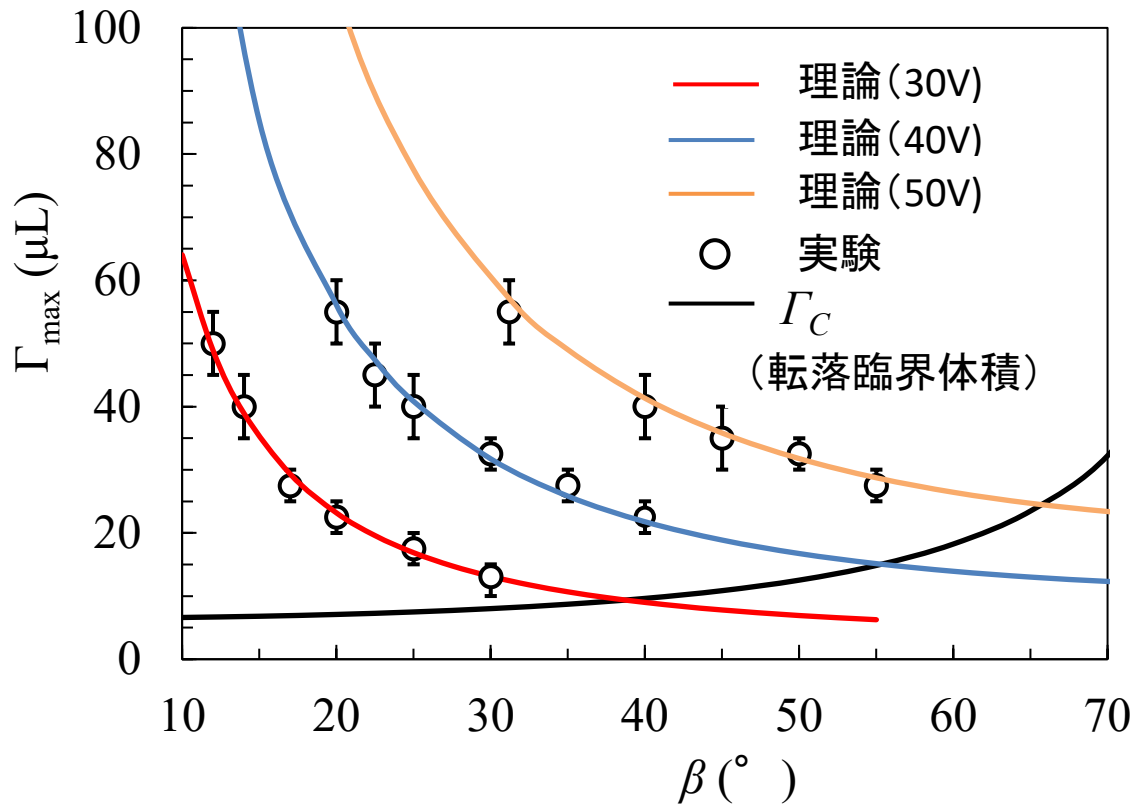


(b) 40 μ L



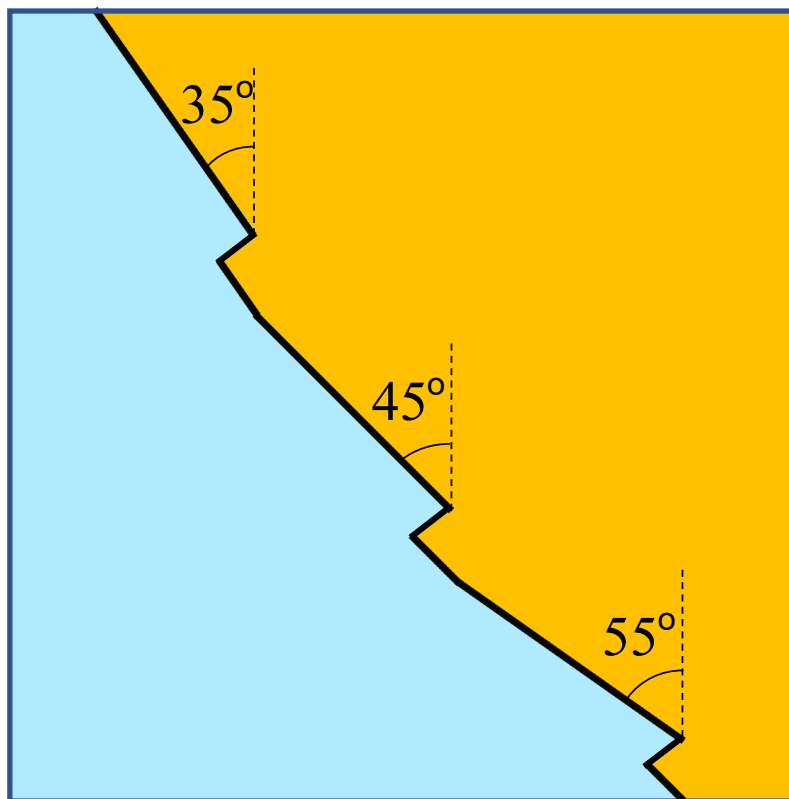
(c) 45 μ L

* μ L=mm³



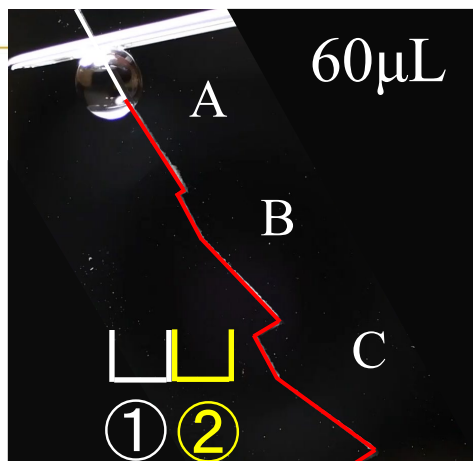
重力方向からの偏向角 β に沿って転落できる最大体積

理論モデルにより, 最大体積の予測が可能.

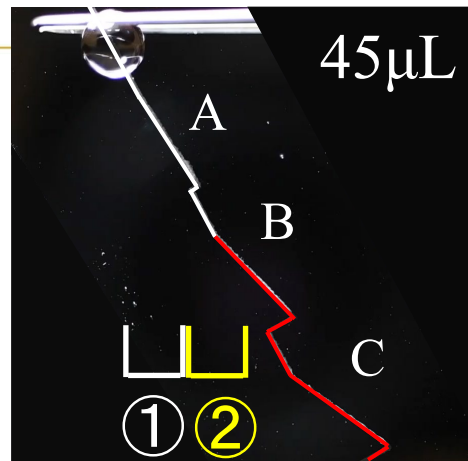


液滴を体積ごとに
経路選別する.

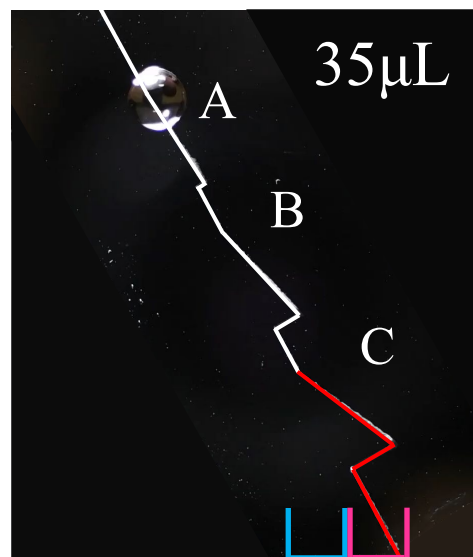
基板模式図



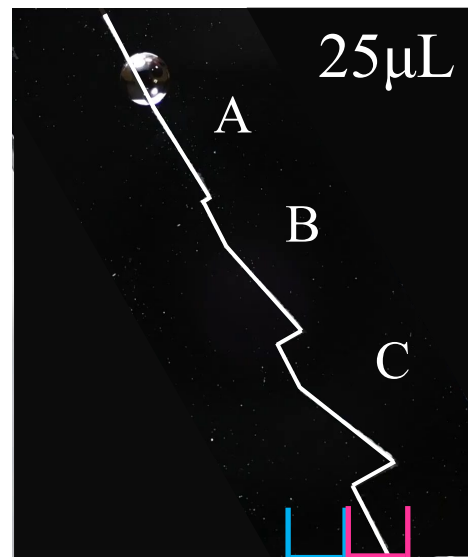
(a) 60 μ L



(b) 45 μ L



(c) 35 μ L

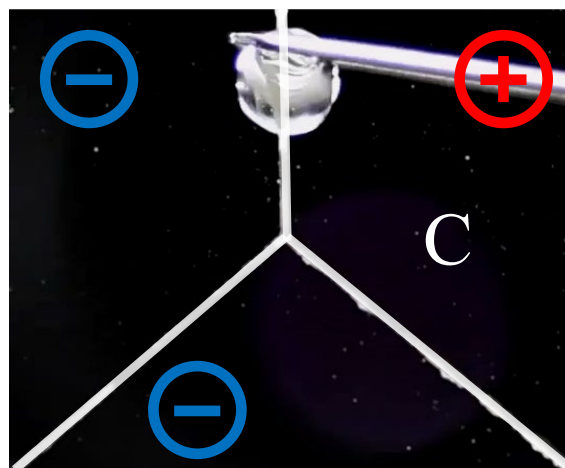
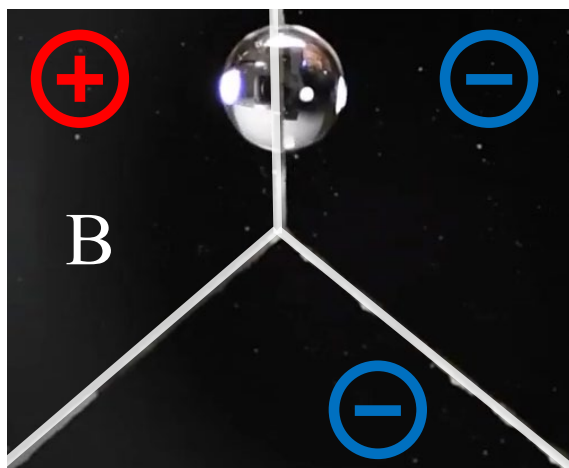
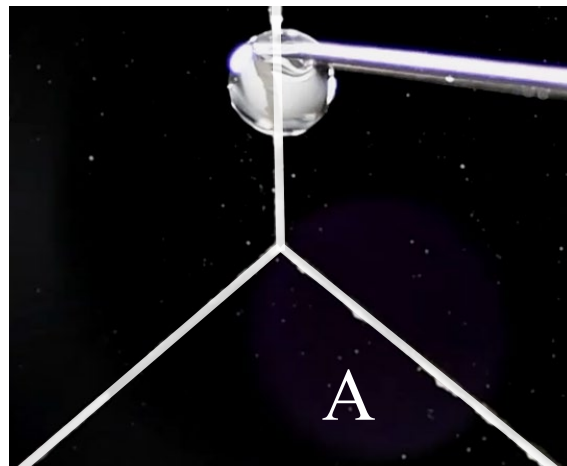


(d) 25 μ L

各体積の液滴
挙動を予め予
測可能

60 μ L: ①の箱へ
45 μ L: ②
35 μ L: ③
25 μ L: ④

体積ごとに移動経
路を制御することが
可能.



電極切り替えによる液滴移動経路の分岐

まとめ

重力により傾斜平板を転落する液滴の運動方向を, EWOD を用いて偏向させることを試みた. 転落液滴に対する力学方程式から, 重力方向から偏向した電極境界に沿って転落できる最大体積を求めることができる. 本手法を用い, 転落液滴の体積選別ならびに移動経路を切り替える装置を提案した.

企業への期待

本手法により、体積ごとに任意の経路に沿った液滴移動制御を行うことができる。電圧のON,OFF制御により、より自由度の高い移動制御も可能である。例えばセルソーター、デジタルPCR装置などへの応用も可能と思われる。

液滴の移動、分離、混合などへの技術需要がある企業との共同研究を希望しています。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：
分類装置、分類方法、および、分類プログラム
- 出願番号 : 特願2022-123339
- 出願人 : 公立大学法人大阪
- 発明者 : 加藤健司、脇本辰郎、松浦丈夫

お問い合わせ先

大阪公立大学

URAセンター URA 梶田 進

TEL 06-6605-3550

FAX 06-6605-2058

e-mail gr-knky-uracenter@omu.ac.jp

新技術説明会

New Technology Presentation Meetings!

大阪公立大学

Osaka Metropolitan University

総合知で、超えていく大学。



大阪公立大学

Osaka Metropolitan University

大阪市立大学 × 大阪府立大学



大阪公立大学のHPで**研究シーズ集**を公開しています。QRコードもしくは下記URLよりご覧ください。

<https://www.omu.ac.jp/research/collaboration/seeds/>

大阪公立大学 研究シーズ一覧

検索

