

[4]水の巨大な電気光学効果 野坂勇悟、金丸博紀

光が物質に入射することによって光電場に**比例**した分極が誘起されるところが・・・入射光強度が強いと比例からはずれ**非線形性**が現れる

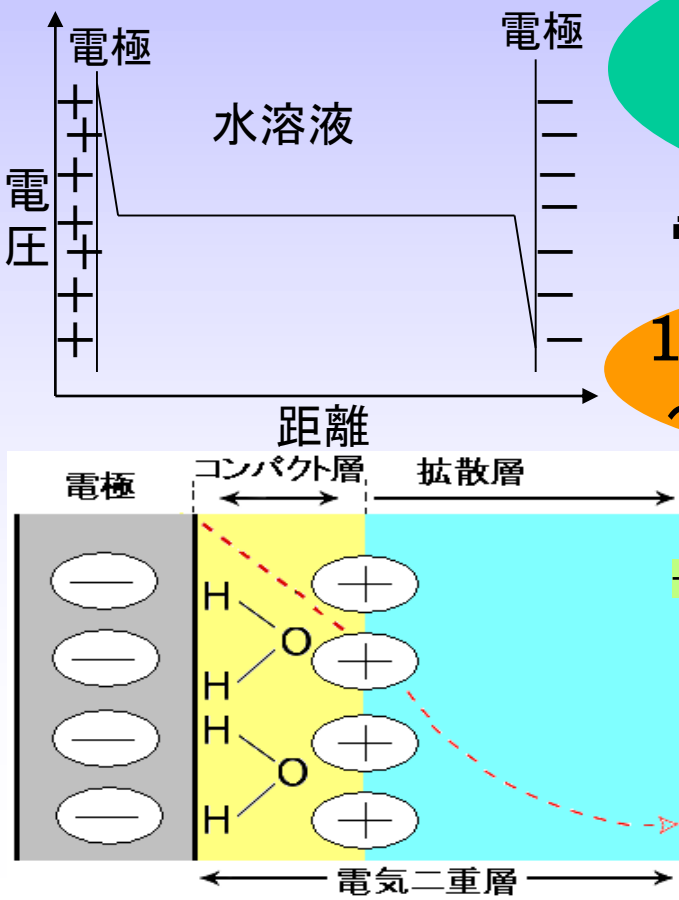
$$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi \vec{E} \quad \longrightarrow \quad \vec{P} = \varepsilon_0 [\chi^{(1)} \vec{E} + \chi^{(2)} \vec{E}^2 + \chi^{(3)} \vec{E}^3 + \cdot \cdot \cdot]$$

これらの非線形項が原因で、電場を印加すると物質の吸収や屈折率が変化

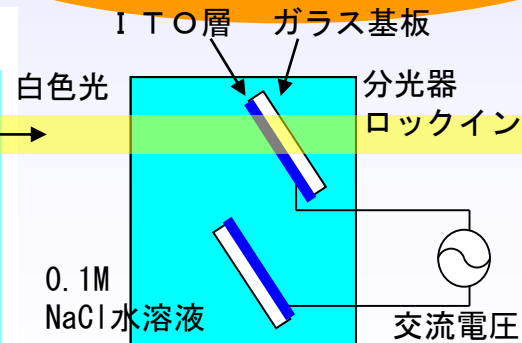
電気光学効果を示す結晶は光通信で光を変調するために実用化されていて、この効果の大きい物質が求められている。水においてこの現象は報告されていなかったが・・・電気二重層を利用すれば

電気二重層 ~ 2 nm

1Vの電圧で層内電場
 $\sim 10^9 \text{ V/m}$



交流電圧で生じる 透過率の変化を測定



電圧で水の屈折率変化

東京理科大・電通大の共同研究
2008年7月15日 東京新聞 朝刊

光通信素子に 응용も

が妙に浅く見えるのは、光が屈折して進行方向が変わるからだ。電圧をかけたとき、光の屈折率が大きく変化することが、東京理科大学と電気通信大学の共同研究で分かっていた。光通信の素子にも応用の可能性があるという。米物理学誌に発表した。

光通信素子

電圧をかけたとき、電圧の正負によって屈折率が変化する。光の進行方向が変わる性質は「ポッケルス効果」と呼ばれ、結晶などには確認されている。だが、水がどの程度の性質を

させるように働く性質を持つが、水のような液体は、分子がまちまちな方向を向いているため、性質が打ち消されて測定できないからだ。

東京理科大の徳水英司准
屈折率
界面で光
るかを示
る物質の
ぶつかる
り速度が
中を走る
屈折率は

水分子の一つひとつは電圧をかけると屈折率を変化

水の屈折率の変化

電極
水

電極の電圧が正のとき

電極の電圧が負のとき

電圧0のとき

水の電場に比例する屈折率変化の係数
(ポッケルス係数)を決定

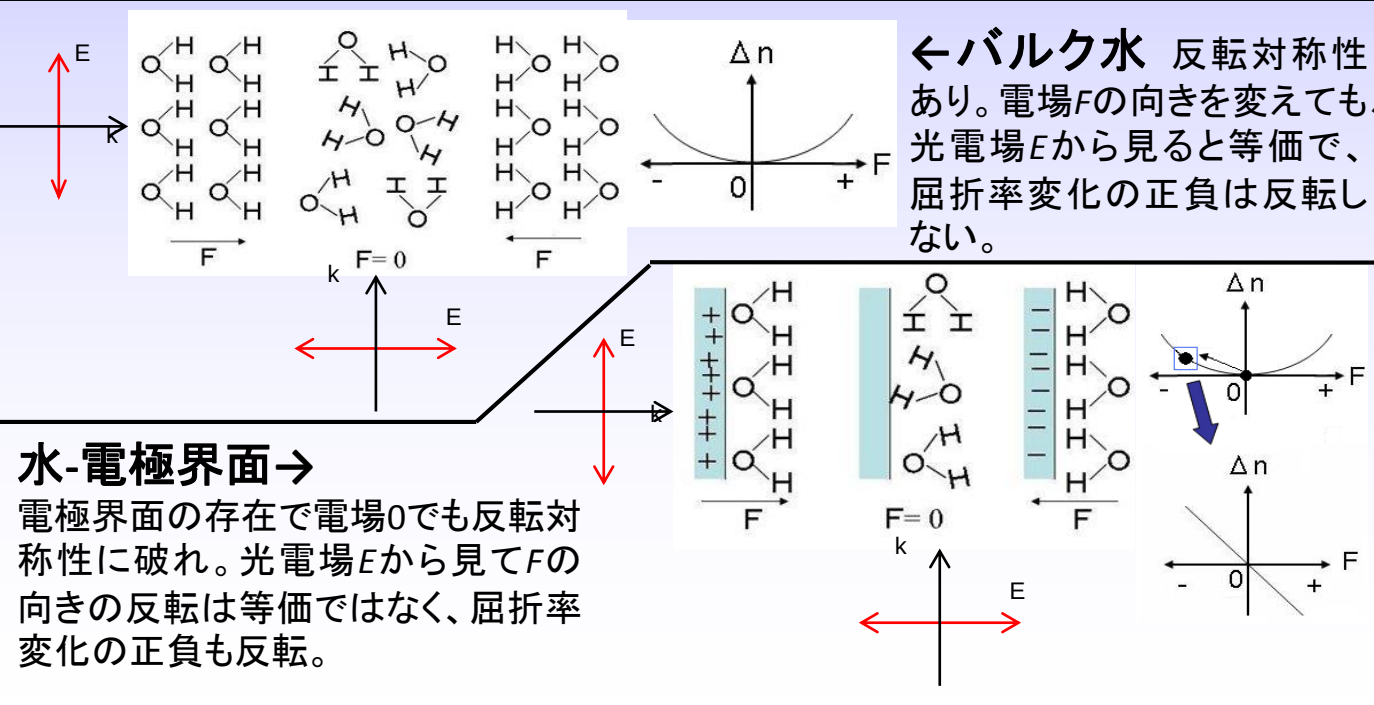
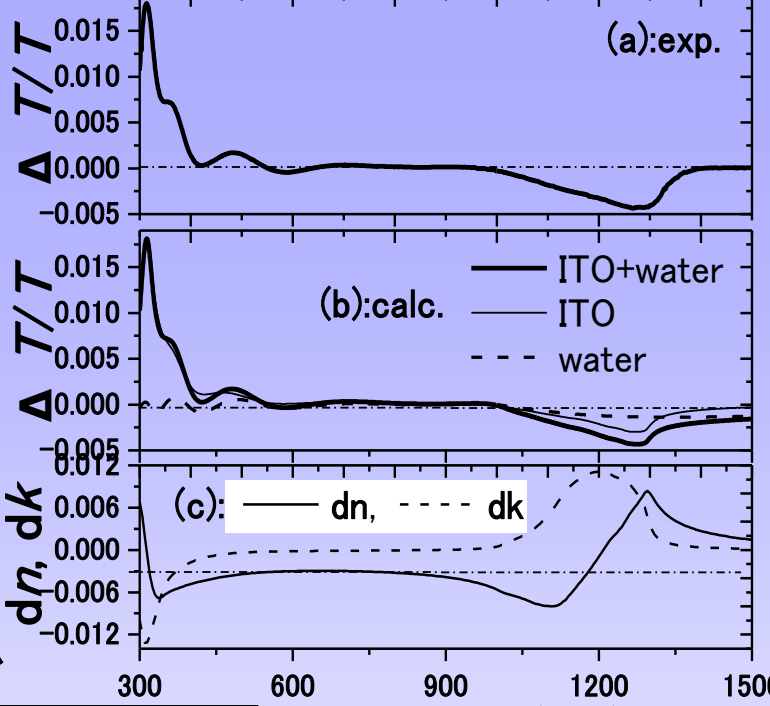
$$r_{33} = (2.5 \pm 0.6) \times 100 \text{ pm/V}$$
$$r_{13} = (2.0 \pm 0.3) \times 100 \text{ pm/V}$$

実用化 電気光学結晶 LiNbO_3 の係数と比べ

$$r_{33} = 30.9 \text{ pm/V}$$
$$r_{13} = 9.6 \text{ pm/V}$$

10~20倍大きい巨大な電気光学効果！

水のポッケルス効果(電場に比例)のメカニズム

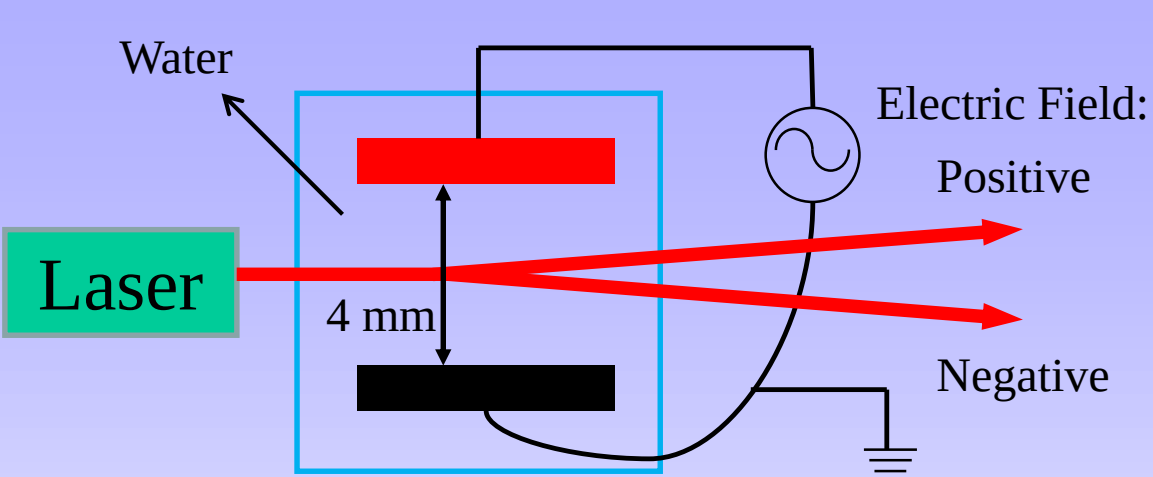


Wavelength (nm)

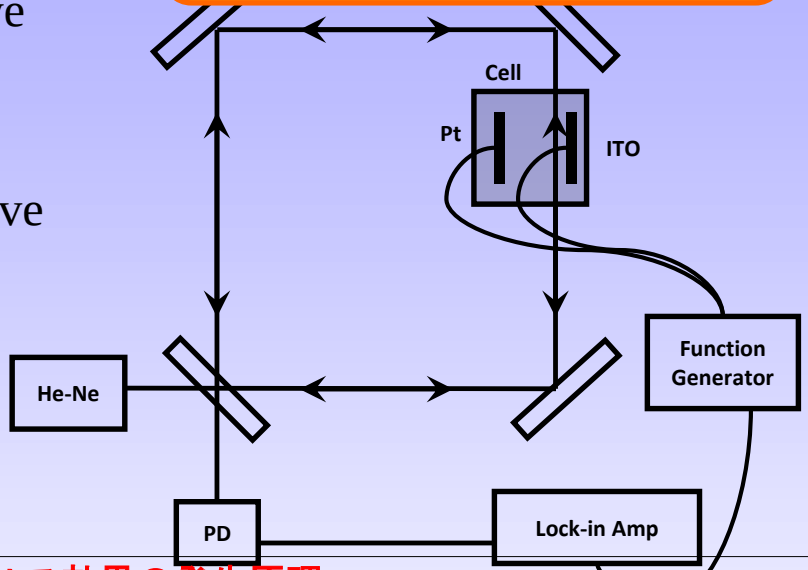
電解水(0.1M NaCl)中のITO電極に1Hz, 2Vの交流電圧を印加したときの透過率変 $\Delta T/T$ スペクトル(a)と計算結果(b)。 (c)で仮定したITOの複素屈折率変化だけでは実験結果を説明できず水の屈折率変化を実証。

バルク水の異常ポッケルス効果を発見

雪田俊平 塩川直幸



屈折率勾配によるプローブ
レーザー光の偏向を
サニャック干渉計で検出



バルク水は巨視的反転対称性を持つ。
界面の存在なしで2次の非線形光学
効果であるポッケルス効果が起こるの
は常識に反する

屈折率勾配が鍵

電極間に印加する交流電場の周波数
fが高くなると、電気二重層の形成が
追いつかず、バルク水全体にわたって
電場勾配が発生する。電場に比例し
た屈折率変化が生じれば、屈折率勾
配が生じ、ビームが偏向する。

バルク水のポッケルス効果の発生原理

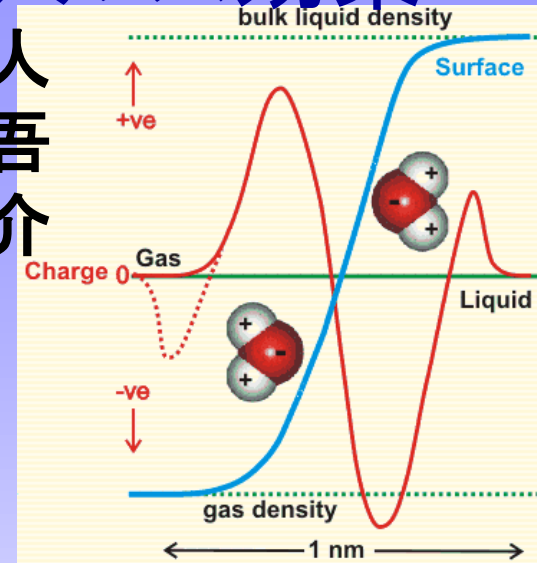
ポッケルス効果 $\Delta n = n_1 F$ (屈折率変化 Δn 、印加電場 F)
電場印加による Δn に空間勾配があるとき、 $n_1 \propto \chi^{(2)}$ なので
偏向角 $\theta \propto \frac{\partial}{\partial x} (\chi^{(2)} F) E$ (光電場 E 、2次の非線形感受率 $\chi^{(2)}$)
空間反転すると
$$-\theta \propto \frac{\partial}{\partial (-x)} (\chi^{(2)} (-F)) (-E)$$

より、 $\chi^{(2)}$ が空間反転で不変でも $\theta \neq 0$ になり得る

気水界面の異常に巨大なポッケルス効果

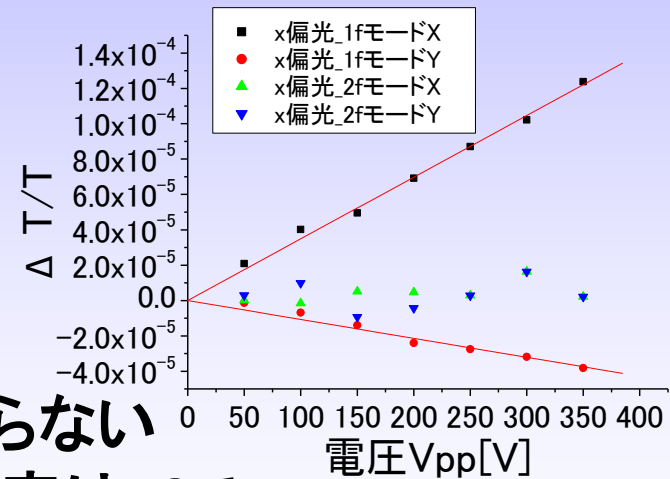
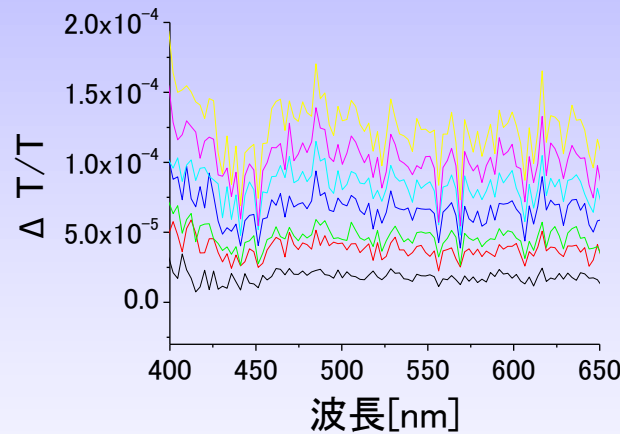
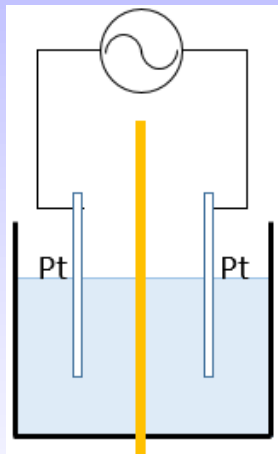
水面では空気側で水素結合のネットワークが切れ、巨視的反転対称性が破れているので、電場印加でポッケルス効果を示すはず

鈴木優人
大澤健吾
羽山大介



気液界面の構造はまだ不明なことがたくさんあり、研究手段は振動分光法、X線回折、AFM、数値計算に限られてきた。**新たな研究手法 ポッケルス効果**

実験方法: 水に電場印加することによって界面水の屈折率が変化する。



不思議なことに、本来ポッケルス効果が起こらないはずの界面平行電場の印加で発生。信号強度は1fで電圧に比例するポッケルス効果を示し、2f信号は桁違いに小さい。ポッケルス係数は $r_{33} = 1.4 \times 10^5 \text{ pm/V}$ 実用化ポッケルス結晶LiNbO3の4000倍以上、固体電極界面の水の500倍以上の値