

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02589

研究課題名(和文) 薄膜アプローチによる固液界面科学の開拓

研究課題名(英文) Thin film approach to solid-liquid interface science

研究代表者

丸山 伸伍 (Maruyama, Shingo)

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80732362

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：液体・液晶を真空蒸着により薄膜化することで、“むき出し”の固液界面をつくる薄膜アプローチによって、非界面敏感な分析手法を用いて固液界面の情報を得る基礎技術を開発した。その結果、イオン液体が基板界面近傍ではバルクとは異なる機械特性をもつことが示唆された。また、温度を変化させたその場観察によって、イオン液体や液晶材料の薄膜におけるガラス転移や結晶化過程の膜厚依存性を明らかにした。応用の観点からは、イオン液体-ポリマー複合電解質薄膜を用いた電気二重層トランジスタを実現したほか、イオン液晶薄膜における電気二重層形成を確認し、固液界面を利用した液体・液晶薄膜デバイス実現へ向けた足掛かりを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

固液界面はさまざまな化学プロセスやデバイスの鍵を握っているから、その情報を実験的に得ることは極めて重要である。本研究は、薄膜化によって固液界面のみを取り出すことで、従来の界面敏感な分析手法に依存せず、表面またはバルク敏感な手法を用いても固液界面に関する知見を得られることを示した点で学術的に大きな意義をもつ。さらに、これまで比較的バルクスケールで使われることの多かった液体・液晶材料を、ナノメートルオーダーの薄膜デバイスへ応用できることを示したことは、次世代のフレキシブルエレクトロニクスを担う材料とプロセス技術を創出するという観点からも、大きな社会的意義を有している。

研究成果の概要(英文)：Basic techniques to obtain information on the solid-liquid interface using a non-interface-sensitive methods by a thin-film approach, where we prepare a “bare” solid-liquid interface by vacuum evaporation on a solid, were developed. As a result, we showed that ionic liquids have different mechanical properties near the substrate interface than in the bulk. In-situ observations at different temperatures have revealed the thickness dependence of the glass transition and crystallization processes in thin films of ionic liquids and liquid crystalline materials. For future device applications using the solid-liquid interface of thin films, we have demonstrated electric double-layer transistors using ionic liquid-polymer composite electrolyte thin films. In addition, we confirmed the formation of an electric double layer in ionic liquid crystal thin films.

研究分野：真空薄膜プロセス

キーワード：界面構造・界面物性 イオン液体 イオン液晶 液晶性有機半導体 ガラス転移 その場観察 電気二重層トランジスタ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

液体は固液界面においてバルクとは異なった構造や性質を示すことが知られている。不揮発性の電解質として知られるイオン液体と固体の界面においても、バルクイオン液体を用いた固液界面研究で固体ライクな分子層が形成されていることなどが報告されており、固液界面のイオン液体がもつ、特異な構造や物性・機能が注目されている。しかし、従来の固液界面の実験的研究は、バルク液体に埋もれた固液界面を、界面敏感な手法や液中プローブ顕微鏡などで調べるというアプローチが主流であった。ここで使われる手法は、バルク液体に固体を浸すだけで、試料の作製が容易である一方で、限られた種類の情報しか得られないという問題もあった。一方、本研究の開始直前に、我々は、独自開発してきた赤外レーザー真空蒸着法と、基板の濡れ制御技術により、ナノスケールの厚さを持つ均一なイオン液体薄膜を作製し、固体基板近傍での液体構造の変化による、バルクとは異なるイオン伝導物性を明らかにした (S. Maruyama et al., ACS Nano., 12, 10509-10517 (2018).)。このような、“むき出しの界面”を作ることができる薄膜アプローチによる固液界面研究は、埋もれた界面を調べる高度な手法だけでなく、表面敏感な分析技術などの幅広い手法による実験研究を可能とする可能性がある。さらに、液体薄膜は、固液界面を使った薄膜デバイスへの応用展開も期待される。

## 2. 研究の目的

以上の背景のもと、本研究では、我々がこれまでに開発してきた真空プロセスによる液体超薄膜作製技術を用い、薄膜アプローチによって、固液界面構造・物性・ダイナミクスに関する学理の構築と、デバイス応用を主な目的とする。本研究で対象とする材料は、真空プロセスに対応したイオン液体だけでなく、液体と固体の中間的な状態である液晶相をもつ、液晶性イオン液体や液晶性有機半導体材料などの物質群の真空プロセスによる薄膜化にも取り組むこととした。また、“むき出しの界面”を調べる手法として、表面敏感な表面揺らぎスペクトロスコーピーや、非晶質薄膜の構造解析が可能で近年発展の目覚ましい p 偏光多角入射分解分光 (pMAIRS) などの非界面敏感な分光手法を取り入れ、従来のバルクに埋もれた界面では得ることの難しい、界面近傍の静的および動的な構造・物性を調査することにも重点を置いた。

## 3. 研究の方法

イオン液体や液晶性材料が固体基板と接する界面近傍の構造や物性を明らかにし、デバイスへの応用を実現するために、以下の研究項目を実施した。

### (1) イオン液体およびイオン液晶薄膜の作製技術の確立

液体・液晶超薄膜の学理構築のためには、構造や物性測定に適した均一でよく規定された良質な薄膜試料を準備する必要がある。そこで、赤外レーザー蒸着法を用いた試料作製条件の検討を行った。

### (2) In situ エリプソメトリによるイオン液体薄膜のガラス転移観察および液晶性有機半導体材料の液晶-結晶相転移観察

赤外レーザー真空蒸着装置に in situ エリプソメトリを設置し、濡れ性を改善した Si 基板上にイオン液体を蒸着後、大気暴露することなく低温まで冷却し、ガラス転移を観察した。また、液晶性有機材料の結晶化相転移の膜厚依存性を調べた。

### (3) 表面ゆらぎスペクトロスコーピーによるイオン液体薄膜の観察

慶応大のグループとの共同研究により、ショット雑音以下の表面の熱ゆらぎを検出可能な表面ゆらぎスペクトロスコーピーを用いて、石英基板上の蒸着イオン液体薄膜の粘性や弾性の膜厚依存性を調べた。この手法は、これまでバルク液体などの表面に対して適用されてきた方法であるが、“むきだしの界面”をもつ液体材料の分析に初めて挑戦した。

### (4) その場 pMAIRS-真空蒸着装置の開発と液晶薄膜の相転移ダイナミクス観察

pMAIRS は p 偏光させた赤外光を様々な角度で基板に入射し、回帰分析によって、各遷移モードの薄膜表面に対して垂直および水平方向の成分に対応するスペクトルを得て、官能基単位で分子配向の定量解析が可能で、京大のグループによって開発された。本研究では、真空蒸着の過程および直後や、昇降温中の薄膜の相転移にともなう分子配向の変化を観察するために、この新しい分光手法を赤外レーザーを用いた真空蒸着装置と組み合わせた in situ pMAIRS 装置を開発した。n 形の液晶性有機半導体材料として知られているペリレンジイミド誘導体 PTCDI-C8 の薄膜を作製し、相転移ダイナミクスの観察を行うことで有効性を検証した。

### (5) イオン液体・イオン液晶薄膜をゲートとして用いた電気二重層トランジスタの開発

バルクイオン液体をゲート絶縁体とした電気二重層トランジスタは、固液界面の電気二重層によってチャネル表面へ高濃度のキャリア誘起が可能な手法として目覚ましい成果を上げているが、多くの研究はバルクイオン液体を用いた基礎研究に留まっている。そこで、薄膜デバイスとしての応用へ向けて、イオン液体薄膜を用いたトランジスタの作製と動作実証を目指した。また、イオン液晶の薄膜における電気二重層の形成についても調査した。

#### 4. 研究成果

##### (1) イオン液体液体およびイオン液晶薄膜の作製技術の確立

これまでサファイア単結晶基板や  $\text{TiO}_2$  単結晶基板において有効性を確認していたイオン液体の濡れ性向上手法である、イオン液体蒸発処理を自然酸化膜付き石英基板に対しても施し、同様の効果が得られることを確認した。この方法は、イオン液体 1-ethyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethylsulfonyl)amide ([emim][TFSA])を基板上に滴下し、真空管状炉中  $300^\circ\text{C}$  で 20 分間保ち、表面に薄い密着層 (厚さ数 nm) を残してイオン液体を蒸発させることで基板の表面改質を行うものである。この手法により、石英基板においてもイオン液体 [emim][TFSA]の均一な薄膜を形成することができた (図 1)。

一方、イオン液晶の多くはイオン液体の分子骨格をベースとして開発されたものが多く、特に長鎖アルキル基を持つものが多く報告されている。本研究では、市販されている数少ないイオン液晶の一つであり、 $75\text{--}125^\circ\text{C}$ においてスメクチック A 液晶相を示す 1-hexadecyl-3-methylimidazolium hexafluorophosphate ( $[\text{C}_{16}\text{mim}][\text{PF}_6]$ )について、赤外レーザ真空蒸着法を用いて水素終端 Si(111)基板上に室温で蒸着を行った。As-deposited 薄膜の表面形態は、特徴的な表面構造を示さず、比較的均一な薄膜が形成し、XRD から (001)配向した結晶相が成長していることが確認された (図 2a)。しかし、図 2b に示すように、大気暴露して数日で表面が荒れてくることが分かった。これは、薄膜中に粒界や欠陥等が存在し、それらを介して大気中の水分が取り込まれたことによる可能性が考えられた。そこで、より欠陥の少ない薄膜の作製を目指して、液晶温度 ( $110^\circ\text{C}$ )でのポストアニールを施した。その結果、表面がより平坦になり分子ステップも確認されただけでなく、XRD の回折ピーク強度の増加やロッギングカーブ半値幅の減少など結晶性も向上した (図 2a)。さらに、大気暴露安定性も向上した (図 2b)。このように、イオン液体は均一な薄膜の形成に前述のような特殊な濡れ処理を必要としたのに対し、イオン液晶は容易に均一な薄膜を形成することができた。これは、等方的で流動性をもつ液体に対して、スメクチック液晶のもつ 2 次元性が薄膜形成に有効であることを示している。これはイオン液晶の薄膜を真空蒸着で作製した初めての報告である。

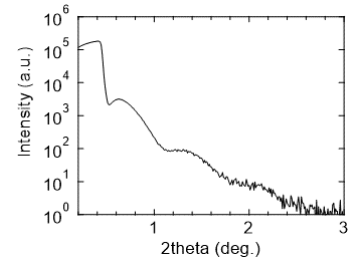


図 1. 石英基板上的[emim][TFSA] 薄膜(~10 nm)の XRR パターン。

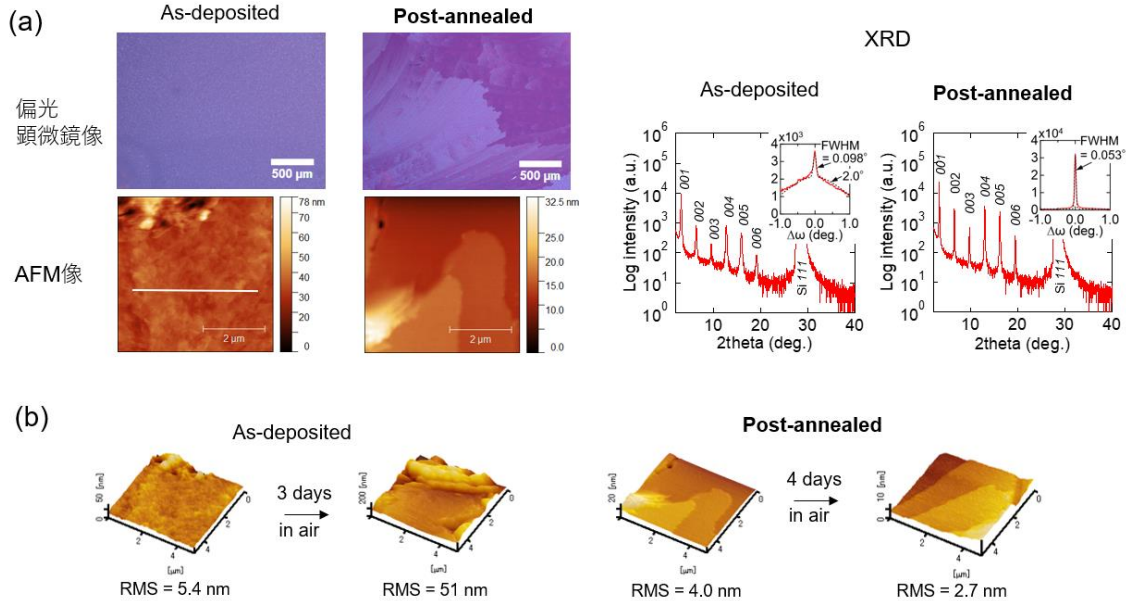


図 2. (a)  $[\text{C}_{16}\text{mim}][\text{PF}_6]$ 薄膜の as-deposited およびポストアニール前後の薄膜の偏光顕微鏡像、表面 AFM 形状像、および X 線回折パターン (挿入図はロッギングカーブ)。(b)  $[\text{C}_{16}\text{mim}][\text{PF}_6]$ 薄膜の大気暴露安定性。As-deposited 薄膜は、大気暴露により大幅に粗さが上昇したのに対し、ポストアニール膜はほとんど変化が見られず安定であった。

##### (2) In situ エリプソメトリによるイオン液体薄膜のガラス転移および液晶性有機半導体材料の液晶-結晶相転移観察

濡れ性改善処理を施した Nb: $\text{TiO}_2$  単結晶基板上にイオン液体薄膜を真空蒸着し、ガラス転移挙動を大気暴露することなく、真空中で in situ エリプソメトリにより調査した。図 3a は [omim][TFSA] (60 nm) についての、偏光状態 (楕円率  $\epsilon$ ) の温度依存性である。ガラス転移点で線膨張率や屈折率が変化することを利用して、薄膜のガラス転移温度  $T_g$  は、 $\epsilon$ -T グラフのキック位置から決定できる。図 3b は本研究で測定された [omim][TFSA] 薄膜の  $T_g$  の膜厚依存性である。50nm 以上の膜厚において、 $T_g$  は膜厚に依存せず、バルク値とほぼ等しいことが分かった (図 3b)。残念ながら本研究期間中には、S/N 比の問題により、50 nm 以下のより界面近傍のイオン液体の

$T_g$  を明瞭にとらえることはできなかったが、より高性能なエリプソの使用や装置設計を見直すことでより薄いイオン液体薄膜のガラス転移挙動を調査できる可能性がある。

次に、合計膜厚が 200nm の[omim][PF<sub>6</sub>]/[omim][TFSA]二層薄膜を作製し、膜厚比を変えて  $T_g$  を調べたところ、どの膜厚比でも対応するバルク混合物の値に近い単一のガラス転移が観測された。この結果は、2層膜として蒸着した場合でも、2種類のイオン液体が均一に混合されていることを意味し、成膜中に十分に相互拡散していたことが示唆された(図 3c)。これらの結果は、*in situ* エリプソメトリがイオン液体薄膜のガラス転移挙動を調べる強力な手法であることを初めて示している。

さらに、*in situ* エリプソメトリによって液晶性有機半導体 PTCDI-C8 の液晶-結晶相転移温度を観察した。この相転移は体積変化を伴うため、偏光状態のジャンプが明瞭に観察され、転移温度を決定できる。その結果、20 nm 以下で有意に結晶化温度が低下することが分かった(図 3d)。この現象の起源として、基板効果による界面分子パッキングの違いによる可能性と、薄膜の体積の減少による結晶核生成頻度の低下などが考えられる。

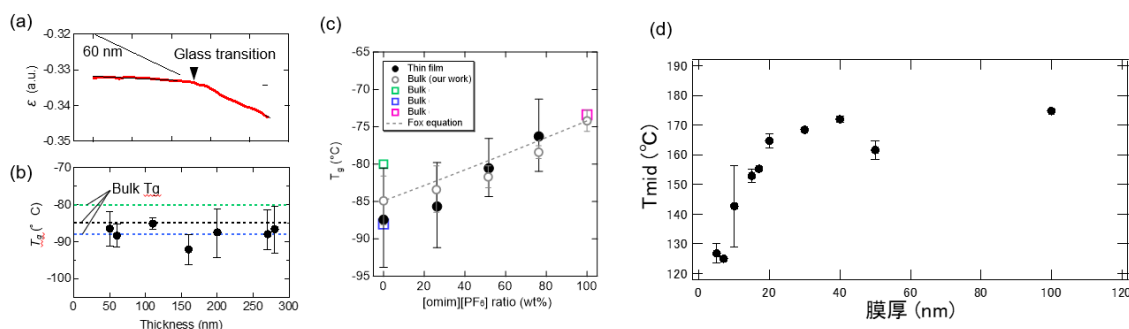


図 3. (a) [omim][TFSA](60 nm)の  $\epsilon$  の温度依存性。(b) [omim][TFSA]薄膜の  $T_g$  膜厚依存性。(c) [omim][PF<sub>6</sub>]/[omim][TFSA] 薄膜の  $T_g$  組成依存性および [omim][PF<sub>6</sub>]-[omim][TFSA] 混合バルクイオン液体の  $T_g$ 。点線はバルクの  $T_g$  に対して Fox 式から予測される組成との線形相関。(d) PTCDI-C8 薄膜の結晶化温度の膜厚依存性。

### (3) 表面ゆらぎスペクトロスコーピーによるイオン液体薄膜の観察

表面ゆらぎスペクトロスコーピーを用いて石英基板上に真空蒸着した[emim][TFSA]液滴を観察した。ここでは、用いた装置がマイクロスケールでのマッピングが可能であったことから、均一な薄膜ではなくあえて液滴を用い、視野内に数 nm から 100 nm 程度までの様々な膜厚のイオン液体膜をとらえ膜厚に依存したスペクトルを迅速に測定した。バルクイオン液体はニュートン液体モデルでよく説明されるのに対し、今回のイオン液体薄膜で得られたスペクトルは 40 nm 以下において粘弾性モデルを仮定したフィッティングでよく説明された。まず、液滴の形状については、AFM 高さ像(図 4a)とよく類似した結果が、表面ゆらぎスペクトロスコーピーによる解析からも得られた(図 4b)。一方、弾性率  $G'$ 、損失弾性率  $G''$  の膜厚依存性(図 4e,f)は、40 nm 以下で膜厚に対して正の依存性を示した。この 40 nm 以下での粘弾性の振る舞いの起源はまだよくわかっていないが、基板の何らかの影響がこの膜厚まで及んでいる可能性を示唆している。

これらの結果は、薄膜アプローチを用いることで、液体表面をプローブする手法が固液界面研究にも適用できる可能性を示していると言える。

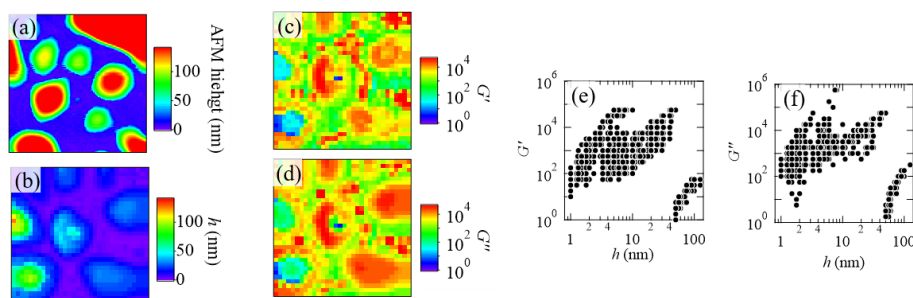


図 4. 石英基板上の真空蒸着[emim][TFSA]液滴の(a) AFM 高さ画像 ( $15 \times 15 \mu\text{m}^2$ ) および、表面ゆらぎスペクトルから推定した(b)イオン液体の膜厚  $h$  ( $15 \times 15 \mu\text{m}^2$ )、(c) 弾性率  $G'$ 、(d) 損失弾性率  $G''$ 。(e,f) 膜厚と  $G'$  および  $G''$  の関係 ((c,d)を用いてプロット)。

### (4) その場 pMAIRS-真空蒸着装置の開発と液晶薄膜の相転移ダイナミクス観察

固液界面近傍の薄膜の構造のダイナミクスをとらえるために、図 5a に示すような *in situ* pMAIRS 装置を開発した。赤外分光装置の試料室部分にコンパクトな真空装置を設置し、赤外透過窓から入射した赤外光を角度および温度可変の基板ホルダに取り付けた基板の裏側から照射することで、透過測定が可能である。波長 808 nm の赤外線レーザー蒸着により、精密に蒸着量を制御して基板の表側に薄膜を蒸着する。本研究では、蒸着直後および降温過程において温度を一定にして pMAIRS 測定を行った。分析対象の材料としては、液晶性有機半導体 PTCDI-C8 を選択

した。図 5b に降温過程での pMAIRS スペクトルを示す。基板温度 195°C で蒸着後、温度を 180°C まで下げると大きくスペクトルが変化した。特に、蒸着直後にブロードだったアルキル鎖の吸収バンドがシャープになったことから、アルキル鎖が乱れた液晶状態から結晶化により秩序化したと考えられる。この温度領域での相転移は、in situ 斜入射 X 線回折の実験でも観察されていたが、回折測定では難しかったアルキル鎖の状態を赤外分光により明らかにすることができたおかげで、蒸着直後の状態が液晶状態であることを直接実験的に示すことができた。さらに、pMAIRS の強みである分子配向解析を実施した結果、蒸着直後の液晶状態の PTCDI-C8 コアの配向は結晶相と大きな差が見られないことが分かった。このように、pMAIRS と真空蒸着を組み合わせたその場観察手法は、基板界面近傍の構造やその相転移ダイナミクスをとらえる有効な手法であることが示された。

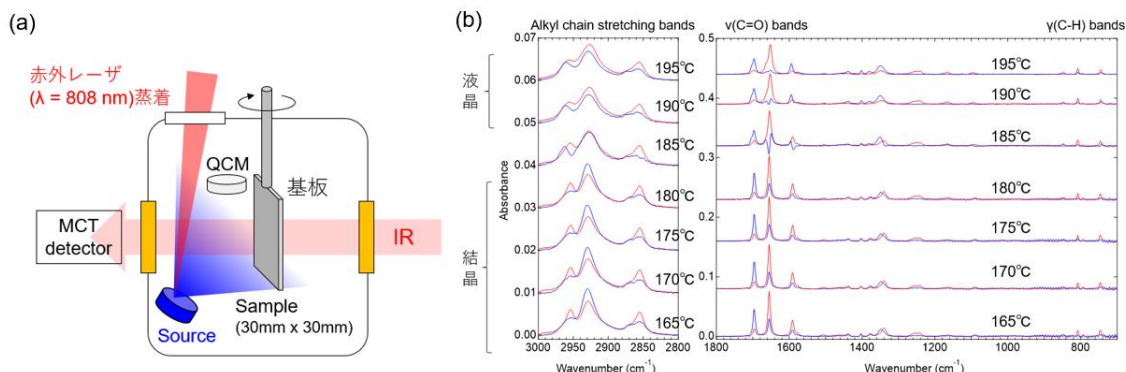


図 5 (a) 本研究で開発した in situ pMAIRS-蒸着複合装置の概略図。(b) PTCDI-C8 薄膜(100 nm)の蒸着直後および降温過程での pMAIRS スペクトル (青：OP、赤：IP スペクトル)。

#### (5) イオン液体・イオン液晶薄膜をゲートとして用いた電気二重層トランジスタの開発

本研究で確立したイオン液体の超薄膜化技術を用いて、イオン液体薄膜ゲートトランジスタの作製を試みた。しかし、イオン液体のみを電極・チャネルを含むすべての領域に均一にかつ形状安定性の高い薄膜化することは容易ではなかったため、多孔質ポリウレアとの複合膜を全て蒸着プロセスにより作製した。この数 10 nm のイオン液体 - 多孔質ポリウレア複合電解質ゲル膜をゲートとして有機半導体であるペンタセンを活性層とした、サイドゲート型のトランジスタを作製し、ドレイン電流のゲート電圧による変調を確認することができた (図 6a)。

成果(1)で述べたイオン液晶薄膜は、イオン液体膜と比較して、流動性が低く 2 次元性が高いため、薄膜としての形状を安定に保つことができる。これを準固体電解質として用いることができれば、前述のようなポリマーとの複合化も不要になる。そこで、イオン液晶膜の上に上部電極を蒸着し、導電性 H:Si 基板との間でキャパシタ構造を作り、静電容量の温度依存性および膜厚依存性を測定した (図 6b)。その結果、スメクチック液晶(SmA)温度において、膜厚に依存しない静電容量が見られ、液晶温度では結晶相温度の 100 倍近い静電容量を示した。これらの結果から、液晶状態の[C<sub>16</sub>mim][PF<sub>6</sub>]薄膜において、電極界面に電気二重層が形成していることが示唆された。今後は、トランジスタなどのデバイス化を進めていく予定である。

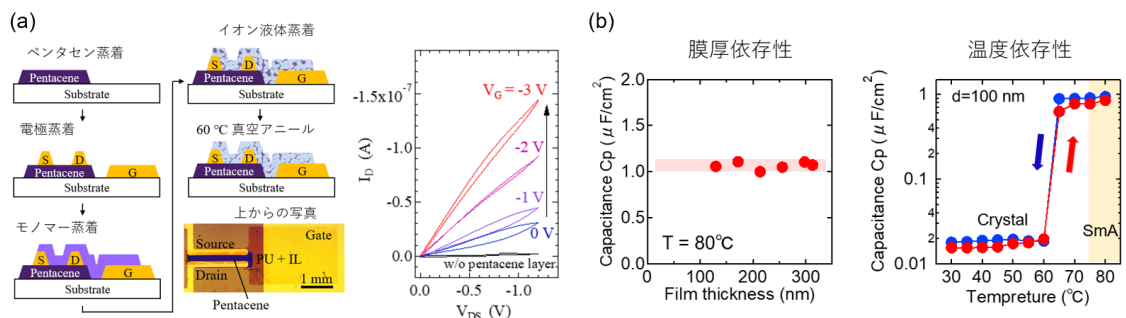


図 6 (a) イオン液体 - 多孔質ポリウレア複合電解質ゲル膜を用いたペンタセントランジスタの作製プロセス模式図およびトランジスタ挙動。(b) イオン液晶薄膜の静電容量の膜厚・温度に対するふるまい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Watanabe Hikaru, Takazawa Ryoji, Takahashi Rikuto, Maruyama Shingo, Matsumoto Yuji	4. 巻 3
2. 論文標題 Nanogels Constituted of Polyurea Filled with an Ionic Liquid as an Electrolyte for Electric Double-Layer Transistors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 9610 ~ 9615
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.0c02335	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takazawa Ryoji, Toyabe Kaho, Maruyama Shingo, Matsumoto Yuji	4. 巻 59
2. 論文標題 In situ diagnosis of vacuum-deposited nanoscale ionic liquid [emim][TFSA], Li salt [Li][TFSA] and their solution films through a combination of ellipsometry and impedance spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 085001 ~ 085001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/aba6cd	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishikawa Yuki, Maruyama Shingo, Matsumoto Yuji	4. 巻 754
2. 論文標題 In situ vacuum ellipsometry approach to investigation of glass transition behavior in ionic liquid thin films	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Physics Letters	6. 最初と最後の頁 137691 ~ 137691
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cpllett.2020.137691	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Maruyama Shingo, Ishikawa Yuki, Mitsui Takahisa, Aoki Kenichiro, Matsumoto Yuji	4. 巻 14
2. 論文標題 Surface thermal fluctuation spectroscopy study of ultra-thin ionic liquid films on quartz	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 075503 ~ 075503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1882-0786/ac08d1	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Maruyama Shingo, Ouchi Kana, Koganezawa Tomoyuki, Matsumoto Yuji	4. 巻 22
2. 論文標題 High-Throughput and Autonomous Grazing Incidence X-ray Diffraction Mapping of Organic Combinatorial Thin-Film Library Driven by Machine Learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Combinatorial Science	6. 最初と最後の頁 348 ~ 355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscobsci.0c00037	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Komatsu Haruka, Tanaka Miyuki, Kaminaga Kenichi, Maruyama Shingo, Matsumoto Yuji	4. 巻 51
2. 論文標題 Electric Double Layer Action of High-quality Ionic Liquid Crystal Thin Films	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 162 ~ 165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210692	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 丸山 伸伍, 田中 深雪, 小金澤 智之, 神永 健一, 松本 祐司
2. 発表標題 パツファ層の結晶-液晶相転移に誘起されたペントセン薄膜の多形転移
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shingo Maruyama
2. 発表標題 Giant grain growth of vacuum deposited perylene derivative thin films
3. 学会等名 The 10th International Symposium on Integrated Molecular/Materials Science and Engineering (IMSE-10) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 周平、高川 佑輔、丸山 伸伍、松本 祐司
2. 発表標題 PTCDI-C8薄膜のグレインサイズに及ぼす下地層粗さの影響
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中 深雪、丸山 伸伍、小金澤 智之、松本 祐司
2. 発表標題 イオン液晶上におけるペンタセン薄膜成長
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高川 佑輔、丸山 伸伍、小金澤 智之、宮寺 哲彦、松本 裕司
2. 発表標題 真空蒸着PTCDI-C8薄膜における巨大グレイン成長のその場GIXD測定
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中深雪、丸山伸伍、松本祐司
2. 発表標題 真空蒸着したイオン液晶薄膜上におけるペンタセン結晶成長
3. 学会等名 第10回イオン液体討論会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 丸山 伸伍, 田中 深雪, 小金澤 智之, 神永 健一, 松本 祐司
2. 発表標題 パッファ層の結晶-液晶相転移に誘起されたペンタセン薄膜の多形転移
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻田 香奈瑛, 丸山 伸伍, 神永 健一, 松本 祐司
2. 発表標題 液晶相からの温度勾配法による C8-BTBT 蒸着膜の結晶成長制御
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安倍 大知, 丸山 伸伍, 神永 健一, 松本 祐司
2. 発表標題 真空蒸着8-QTP-8薄膜における液晶状態を経由した結晶成長に与えるアニール条件の影響
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦 陸, 丸山 伸伍, 塩谷 暢貴, 下赤 卓史, 長谷川 健, 神永 健一, 松本 祐司
2. 発表標題 In situ 赤外 pMAIRS-蒸着複合装置によるPTCDI-C8 薄膜の結晶化過程の観察
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小松 陽花、丸山 伸伍、神永 健一、松本 祐司
2. 発表標題 トランジスタ応用を目指したイオン性液晶薄膜の作製
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小松陽花、丸山 伸伍、松本 祐司
2. 発表標題 デバイスへの応用を目指したイオン性液晶薄膜の作製とその評価
3. 学会等名 イオン液体Workshop2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川 湧己、丸山 伸伍、松本 祐司
2. 発表標題 真空中におけるエリブソメトリを用いたイオン液体薄膜のガラス転移観察
3. 学会等名 第 10 回イオン液体討論会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------