

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：82121

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400435

研究課題名(和文)空間的束縛による液体イオウ高分子の自己秩序化 - 斜入射中性子小角散乱法による研究 -

研究課題名(英文) Self-ordering of liquid polymeric sulfur induced by spatial constraint - grazing-incident small-angle neutron scattering

研究代表者

坂口 佳史 (Sakaguchi, Yoshifumi)

一般財団法人総合科学研究機構(総合科学研究センター(総合科学研究室)及び東海事業・その他部局等・副主任研究員)

研究者番号：20397590

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、空間的束縛を受けた液体イオウ中の高分子の自己秩序化の可能性を、斜入射中性子小角散乱法によって探ろうとするものであった。しかしながら、当初予定していたビームラインでの機器整備が思ったように進まず、研究期間内での実現は困難と予想され、最終ターゲットを見据えた斜入射光学系の準備研究(時分割中性子反射率測定)、ならびに試料環境機器(電気炉)整備を中心に研究開発を進めてきた。前者については、アモルファスカルコゲナイド薄膜への銀の光拡散を対象とした測定を行い、その反応過程解明に向けた大きな進展をもたらすことができた。後者については、整備した電気炉を用い、MLFでの実験を実現した。

研究成果の概要(英文)：Our final goal of this project was to pursue self-ordering of liquid polymeric sulfur in a confined space using Grazing-Incidence Small-Angle Neutron Scattering (GISANS). However, it became difficult to perform the GISANS measurement in the research period due to a strong delay of the installation of the GISANS option on the beam line. Therefore, we set new realistic objectives of the project; a preparatory research using grazing-incidence measurement system, and the sample environment instrument installation for the GISANS experiment. For the former one, we performed time-resolved neutron reflectivity measurement for silver photo-diffusion into amorphous chalcogenide and the kinetics was clarified. For the latter one, we specially produced a furnace for small-angle neutron scattering instrument and the furnace became available on the small-angle neutron scattering instrument at the MLF in J-PARC.

研究分野：物性物理学

キーワード：自己秩序化 液体イオウ 高分子 斜入射

## 1. 研究開始当初の背景

高分子は、その名が示す通り大きな分子量をもつことから、ナノスケール空間に閉じこめられると、束縛的效果が生じ、三次元的に自由に広がった空間では見られない新規な振舞いを示すことが期待される。我々はこれまで、高輝度パルスレーザー光を数マイクロン以下の二次元的空間に閉じこめられた液体イオウに照射する実験を行い、光誘起による重合化と、可視光程度の秩序構造出現を示唆する色付きの現象が観測されることを見出した。液体という乱れた系に秩序構造が現れるという点は興味深いですが、これは、光によって生成されたイオウ高分子が二次元的空間に閉じ込められたことにより形成された自己秩序化現象であると理解され、どのような秩序構造が形成されているのかは大変興味もたれる。しかしながら、試料が液体であり、1分もすれば元に戻ってしまうこと、液体試料を閉じ込める容器が必要で、これを容易にすり抜けられるプローブが必要なことから、これまではこの秩序構造を明らかにするための適当な観測手段が得られずにいた。

近年、J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) MLF (Materials and Life Science Experimental Facility)の本格稼働を受けて、中性子実験装置の高度化にも大きな期待がもたれるようになった。特に、中性子反射率測定装置では、斜入射中性子小角散乱測定 (Grazing-incidence small-angle neutron scattering: GISANS) とよばれる、薄膜試料にすれすれの浅い角度で中性子ビームを入射させ、表面の面内に生じたナノスケール秩序を明らかにするための測定オプション導入の動きがあり、薄膜の面内構造を明らかにする手段として注目されている。中性子をプローブとすると、石英ガラスセルを透過して液体試料にアクセスすることができるため、液体イオウ薄膜に生じた秩序構造を調べるには大変有用な手段であると考えられる。

## 2. 研究の目的

上記背景を受け、空間的束縛が液体イオウの重合化における秩序形成に及ぼす影響を GISANS で調べることを本研究の最終目的とした。特に、この研究期間では、まず、光ではなく熱重合 (159 で生じる) の場合について明らかにしようとした。しかしながら、J-PARC 中性子反射率測定装置における斜入射小角散乱測定オプションの導入は順調には進まず、GISANS 測定を行って研究を進める、もしくは完結させるというスタイルはとれなくなった。このため、この最終目的のための準備研究、開発との位置付けから、以下のサブテーマを設定した。

- (1) 斜入射光学系による中性子ナノ構造解析を液体イオウの仲間となる系に適応し、GISANS 解析の準備を行う。
  - (2) 実験遂行のためには、試料温度を 400 程度まで上げることができる電気炉が必要であり、J-PARC で使用できる電気炉を整備する。
- 結論から言えば、研究期間中、GISANS オプション整備は実現せず、結果として、上記、サブテーマを対象として研究を進めた。

## 3. 研究の方法

### (1) 斜入射光学系による中性子ナノ構造解析の液体イオウの仲間となる系への適応

斜入射光学系において、GISANS は薄膜面内の散乱ベクトルに着目するのに対し、膜厚方向の散乱ベクトルに着目するのが反射率測定である。また同じ面内でも、GISANS は小角領域を対象とするのに対し、回折のような大きい Q 領域を対象とするものは GID と呼ばれる。試料としては、イオウを含み似たような敏感な光応答性を示し、かつ液体と同様のランダム系となるアモルファス硫化ゲルマニウムで膜厚方向に変化の現れる銀の光拡散を対象として、時分割中性子反射率測定を行った。

### (2) 電気炉整備

J-PARC MLF では、機器の持ち込み、導入に際して安全基準が他施設と比べ高めに設定されており、これをクリアしたものでないと使えないといった事情がある。その一方で、専用機器は十分に整備されておらず、他の測定用に設計された電気炉を流用せざるを得ない、といったこともあった。このため、小角散乱測定専用のバックグラウンドの低い電気炉の整備を行った。

## 4. 研究成果

### (1) アモルファス硫化ゲルマニウムへの銀の光拡散の時分割中性子反射率測定

この測定は GISANS の準備測定との位置づけで始めたが、実際行ってみると、対象とした銀の光拡散現象の理解に予想以上の大きな進展をもたらした。また、測定自体にも新しい展開をもたらした。

#### J-PARC MLF での測定

研究期間中、一般課題で採択された 2013A0203, 2013B0159, 2014A0141, 2014B0178 のビームタイムを用いて、J-PARC MLF BL17(写楽)において中性子反射率測定を行った。Ge 組成や硫化ゲルマニウム膜厚を変えたり、光の照射方向を変え等、種々の実験条件で行った。実験前には、これまで通説であった、「銀が光拡散した反応層が光照射に伴って徐々に広がっていき、ついに反対側まで銀が到達する」としたモデルの検証を行うつもりであったが、実際に実験を行ってみると、そうではないことが明らかになった。銀の拡散の仕方、反応速度は、Ge 組成、硫化ゲルマニウム膜厚、光照射方向によって大きく変わるが、代表的なケースとして、次のようなことがわかった。

#### Ag 500Å / Ge<sub>20</sub>S<sub>80</sub> 1500Å / Si 基板

この場合、光照射開始 2 分までの速い拡散があり、その後 20 分までの遅い拡散があり、ひとつの均質な反応膜になる。初めの速い拡散で準安定な反応膜が形成されると考えられるが、この膜厚がその後の遅い拡散の時間帯においてもほぼ変わらないことがわかった。つまり、反応層が広がって膜厚が大きくなるとするこれまでのモデルとは違っていることになる。今回の実験で得られた結果を解釈すると、おそらく、準安定な反応膜とその奥の硫化ゲルマニウム膜との界面にエネルギー障壁があり、銀の拡散は、光により、この障壁を乗り越えることによって起こっていることを示している

と考えられる。

#### Ge<sub>33</sub>S<sub>67</sub>/Ag/Si 基板

化学量論的組成で、光照射を硫化ゲルマニウム側から行ったこの実験では、上のケースとは異なり、準安定な反応層は形成されず、銀が硫化ゲルマニウム側に入った後はすぐに硫化ゲルマニウム層全体に拡散していると解釈される結果が出た。銀側から光照射した場合、光の透過率からすると、光の影響を受けるのは銀/硫化ゲルマニウム界面に限られるのに対し、硫化ゲルマニウムから光照射した場合は光の影響は硫化ゲルマニウム層内全体と界面両方に及ぶ。銀の拡散が硫化ゲルマニウム層に侵入後すぐに全体に及ぶのは、光の影響が硫化ゲルマニウム層全体に及ぶことによると考えられる。こうしたことはこれまで指摘されることはなかったが、このような状況を考えてみると納得のいく結果であるといえる。

また、光照射を30分以上続けると、この薄膜では、表面にマクロなパターンが形成され、全反射領域もなくなる程、鏡面反射率が落ちることがわかった。SEMを用いた詳細な観察を行ったところ、表面は波打ったように凹凸があり、しかし、表面膜自体は一樣で相分離を起こしているような画像上の変化はない。さらに、SEM-EDS測定からは、この膜は銀、ゲルマニウム、イオウからなる一樣膜であることもわかった。そもそも、表面膜にマクロな波打ちパターンができたということは、そうした変化が可能な程に膜が柔らかくなっていたことを示している。つまり、液体様のマクロなパターン形成がアモルファス薄膜で実現されていたということになる。

#### ISIS (英国) での測定

2013年はJ-PARCで夏から秋にかけて、施設グレードアップのための長期シャットダウンが予定されていたため、この期間に中性子実験を行うため、英国のパルス中性子実験施設ISISにて中性子反射率測定を行うことを計画したが、課題が採択され、実施することができた。装置は、薄膜反応系の実験を意識し、広いQ領域を強い中性子ビーム強度で測定できることを目指して設計された第2ターゲットステーションにあるINTERであったが、J-PARCでの測定よりも高速の測定が期待できるとして、試料はより反応速度の速い、Ag/Ge-Se系を対象とした。しかし、試料作製を依頼していたアメリカ合衆国の共同研究者との間で行き違いがあり、作製から発送までの過程で光照射が行われた試料が送られ、期待していたより速い拡散現象の観測は残念ながらできなかった。ただ、ある試料については、30分以上の光照射で、思いもかけず、反射率プロファイルに劇的な変化が観測された。ここで、反射率測定に用いていた<sup>3</sup>Heポイント検出器から1次元検出器に切り替え、測定を行ったところ、鏡面反射強度が落ちているのに対し、非鏡面反射の増加のあることが一目してわかった。実際、測定後、試料を取り出してみると、肉眼でもわかる表面粗さの増大が観測された。すなわち、この系のある特殊な条件下では、銀の光拡散を契機としてマクロなレベルでの表面膜構造の変化が起こることが明らかになった(時期的に

は、前述のGe<sub>33</sub>S<sub>67</sub>/Ag膜での観測より先に観測された)。

#### ラウエ・ランジュバン研究所(フランス)での測定

2014年3月にフランスにある中性子施設ラウエ・ランジュバン研究所(ILL)においてSKIN(Study on Kinetics with Neutrons)2014という主に中性子小角散乱、反射率測定を対象とした時分割測定に関する国際研究会が開催され、このとき、J-PARC MLFで観測された時分割中性子反射率測定の結果を発表した。ここでは、最短30秒分割の測定(解析)として高速測定の進展をアピールしたが、発表後、ILLの反射率装置担当者から、ILLでは1秒分割の測定が可能であり、将来的にはミリ秒領域の測定も可能になるので、一度、測定をしてみないか、と声をかけられた。これがきっかけとなり、翌年夏にILL D17でAg/Ge-S系の時分割中性子反射率測定を行うことになった。

観測時間が1時間以上におよび、かつ切れ目なくデータ取得する必要があることから、実際には最短測定時間は5秒となったが、彼等が開発した高速測定用の光学系とデータ処理システムにより、そのような短時間測定でも1時間程度の時間をかけて取得する通常のstaticな測定結果と遜色ないデータを取得することができた。また、2次元検出器を用いられているため、鏡面反射以外の角度でのデータが自動取得されることになっているが、これによりYonedaとよばれる臨界角近傍に現れる非鏡面散乱が観測され、かつ、これが光照射後、時間変化することが明らかになった。このように、高速の短時間領域、非鏡面を含めたQ領域へと測定対象が当初の予想を超え、大きな広がりを見せる結果となった。

#### (2) 電気炉整備

液体イオウのGISANS測定を可能とするための電気炉を整備した。ここで、施設内での試料環境機器との位置付けから、利用可能な他の測定においても使える汎用機器としての性格を持たせるようにした。具体的には、射入射反射光学系で測定する場合と、通常の小角散乱測定と同じ透過型光学系双方に適応できるようにした。

バックグラウンド軽減のためには、ビームパス中にできるだけものを置かないようにするという一方で、入射、散乱側双方にヒーター炉芯管の穴を開けた。理想的には、炉芯管からの散乱が出ないようにBNのような中性子を吸収する材質で炉芯管を作製できるとよかったのであるが、予算の関係上実現できず、アルミ製の炉芯管を使用した。このため、炉芯管に入射ビームが当たらないよう、別途、B<sub>4</sub>C コリメータを電気炉窓に取り付ける構造にした。雰囲気としては、ガス(Ar, N<sub>2</sub>, He)下と真空下の両方で使えるものにした。安全装置としては、過昇温防止のインターロック機構(インターロック用温度モニター、2箇所・電流・電圧の異常出力防止)、1気圧以上に容器の内圧が上がらないようにするリリーフバルブの設置、非常停止ボタンの設置、等を取り付けた。また、使用するケーブルやコネクターに関しては、MLFの電

気保安規定に従うものを選定した。真空下で 1000 、ガス雰囲気下で 900 までの仕様であるが、安定した温度制御ができ、特に降温過程では、

- 1 以下のオーバーシュートで制御できている。

2016 年 2 月に小角散乱実験装置 BL15(大観)での MLF プロジェクト課題実験で使用し、今後の同電気炉の利用に向けた見通しを立てることができた。

### (3) 最終目的との関連と今後に向けて

以上のように、結論から言うと、液体イオウの GISANS 測定から閉じ込め効果によるナノ秩序構造の解明をするという最終目的については、実験の実施すらできずに研究期間が終了してしまったとまとめられる。しかしながら、この研究期間を通じて、その準備として取り組んできた研究では当初の予想を超えた形で大きな進展があった。具体的に言えば、アモルファスカルコゲナイドへの銀の光拡散現象について、中性子反射率測定がナノスケールレベルでその反応カインेटクス解明に有用であることを示すことができた。この結果については、国内外の関係研究者に大きなインパクトを与えることができた。ここで観測したのは膜厚方向での膜構造の時間発展に相当するが、膜内のナノスケール秩序に相当する GISANS を今後調べていくにあたっては、よいレファレンスとなる資料を収集することができたといえる。さらに、思いもかけなかったことであるが、アモルファスカルコゲナイドへの銀の光拡散が生じたときのある特殊な条件下では、表面膜にマクロなパターンが形成されることがわかった。この変化は、液体イオウに空間的束縛を与えずにレーザー照射を行った場合に生じるパターンと酷似しており、自己組織化(秩序化)の起源を探る上で新しい研究対象を提示することになり、最終的な研究目的とつながることになった。特に今回、液体ではなくアモルファスにおいてマクロなパターン形成が確認されたという意味は大きく、変化の本質を考え直す上で大きな契機となったといえることができる。また、成果という形では残っていないが、この研究期間を通じて GISANS 測定の準備に関わる情報収集も行うことができた。SKIN2014 への参加で、ILL のような線源強度の強い施設では既に GISANS は測定可能となっており、しかも、反射率装置ではなく、小角散乱装置で実現されている状況を知ることができた。ICANS26 の参加では、発表者の中で GISANS のソフトウェア開発者がいたため、FRMII(ドイツ)での実験の状況やソフト開発に関する状況を知ることができた。これらは、今後、GISANS 実験の実施を考える上ではとても参考になる情報である。さらに、研究期間に先立ち、MLF BL17(写楽)において射入射中性子回折(Grazing-incidence neutron diffraction: GIND)のテスト実験を行っていたが、研究期間のはじめの数ヶ月間、この結果のまとめと、X 線を用いた場合の射入射回折(GID)に関する調査、研究、考察を行った(発表 20)。十分な GIND の結果が得られていなかったため論文発表にまでは至っていないが、射入射光学系の特殊性を実感し、その後、応用していく上では大変貴重な活動であったということができ、ここに特記しておきたい。

尚、この研究では、花島隆泰博士(CROSS)の多大なご協力をいただいた。この場をお借りし、感謝申し上げます。

機器開発として取り組んできた電気炉整備に関しては、時間がかかり、紆余曲折があったものの、本研究期間の終了直前となる 2016 年 2 月に、製作した電気炉を使用した小角散乱実験を実施することができるようになったことが何よりも大きな成果であったと言える。これを足がかりとして、今後 MLF で熔融液体研究が盛んに行われるようになることを期待したいと思う。

以上をまとめると、研究期間内での目的達成には至らなかったが、もともとの研究目的で意図していた、“ランダム系における自発的秩序化”という一見矛盾する現象を対象としたそのメカニズム解明という広義の目的に関しては、確実に前進することができ、また、予想を超える形で研究に広がりがもたらされたといえる。このような結果を得ることができたのも、学術研究の発展という観点からサポートいただいた本研究助成金のお陰であり、この場をお借りし、感謝申し上げます。本研究期間で行ってきた研究が今後の研究発展に大きく寄与するものと信じている。

### 5. 主な発表論文等(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件(投稿中を含む))

Y. Sakaguchi, H. Asaoka, Y. Uozumi, K. Kondo, D. Yamazaki, K. Soyama, M. Ailavajhala, and M. Mitkova, “Silver photo-diffusion and photo-induced macroscopic surface deformation of  $\text{Ge}_{33}\text{S}_{67}/\text{Ag}/\text{Si}$  substrate”, 投稿中。

Y. Sakaguchi, H. Asaoka, Y. Uozumi, Y. Kawakita, T. Ito, M. Kubota, D. Yamazaki, K. Soyama, G. Sheoran and M. Mitkova, “Processes of silver photodiffusion into Ge-chalcogenide probed by neutron reflectivity technique”, *Physica Status Solidi A*, 査読有, online published (2016) DOI 10.1002/pssa.201533037.

Y. Sakaguchi, H. Asaoka, Y. Uozumi, Y. Kawakita, T. Ito, M. Kubota, D. Yamazaki, K. Soyama, M. Ailavajhala, K. Wolf, M. Mitkova, and M. W. A. Skoda, “Measurement of Transient Photo-induced Changes in Thin Films at J-PARC - Time-resolved Neutron Reflectivity Measurements of Silver Photo-diffusion into Ge-chalcogenide Films”, *JPS Conference Proceedings*, 査読有, Vol.8, 2015, 031023. <http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.8.031023>.

Y. Sakaguchi, H. Asaoka, Y. Uozumi, Y. Kawakita, T. Ito, M. Kubota, D. Yamazaki, K. Soyama, M. Ailavajhala, M.R. Latif, K. Wolf, M. Mitkova, and M. W. A. Skoda, “Dynamics of silver photo-diffusion into Ge-chalcogenide films: time-resolved neutron reflectometry”, *Journal of Physics: Conference Series*, 査読有, Vol.619,

2015, pp.012046.  
doi:10.1088/1742-6596/619/1/012046.

Y. Sakaguchi, H. Asaoka, Y. Uozumi, Y. Kawakita, T. Ito, M. Kubota, D. Yamazaki, K. Soyama, M. Ailavajhala, M.R. Latif, and M. Mitkova, Studies of silver photodiffusion dynamics in  $\text{Ag}/\text{Ge}_x\text{S}_{1-x}$  ( $x = 0.2$  and  $0.4$ ) films using neutron reflectometry, Canadian Journal of Physics, 査読有, Vol.92, 2014, pp.654-658. dx.doi.org/10.1139/cjp-2013-0593

〔学会発表〕(計 20 件)

坂口佳史、朝岡秀人、魚住雄輝、近藤啓悦、川北至信、伊藤崇芳、久保田正人、山崎大、曾山和彦、Mahesh Ailavajhala, Maria Mitkova, “アモルファス Ge カルコゲナイド薄膜への銀の光拡散の中性子反射率測定による研究 V”, 日本物理学会 第 71 回年次大会, 2016 年 3 月 21 日, 東北学院大学泉キャンパス(宮城県・仙台市)

坂口佳史、朝岡秀人、魚住雄輝、川北至信、伊藤崇芳、久保田正人、山崎大、曾山和彦、G. Sheoran, M. Mitkova, P. Gutfreund, R. Cubitt, “アモルファス Ge カルコゲナイドへの銀の光拡散の時間分解中性子反射率測定”, 日本中性子科学会 第 15 回年会, 2015 年 12 月 11 日, 和光市民文化センター「サンアゼリア」(埼玉県・和光市)

Y. Sakaguchi, H. Asaoka, Y. Uozumi, Y. Kawakita, T. Ito, M. Kubota, D. Yamazaki, K. Soyama, G. Sheoran, and M. Mitkova, “Processes of silver photo-diffusion into Ge-chalcogenide probed by neutron reflectivity technique”, 26th International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors, 2015 年 9 月 16 日, Eurogress (Aachen (Germany))

坂口佳史, 「空間的束縛を受けた液体イオウ高分子の自己秩序化」, 東京大学物性研究所短期研究会 ガラス転移と周辺分野の科学, 2015 年 7 月 30 日, 東京大学物性研究所(千葉県・柏市)

坂口佳史、朝岡秀人、魚住雄輝、川北至信、伊藤崇芳、久保田正人、山崎大、曾山和彦、Kasandra Wolf, Maria Mitkova, “アモルファス Ge カルコゲナイド薄膜への銀の光拡散の中性子反射率測定による研究 IV”, 日本物理学会 第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 22 日, 早稲田大学早稲田キャンパス(東京都・新宿区)

坂口佳史、朝岡秀人、魚住雄輝、川北至信、伊藤崇芳、久保田正人、山崎大、曾山和彦、Kasandra Wolf, Maria Mitkova, “中性子反射率測定によるアモルファスカルコゲナイドへの銀の光拡散の研究”, 第 3 回物構研サイエンスフェスタ、第 6 回 MLF シンポジウム、第 32 回 PF シンポジウム, 2015 年 3 月 17 日, つくば国際会議場(エポカルつくば)(茨城県・つくば市)

坂口佳史、朝岡秀人、魚住雄輝、川北至信、伊藤崇芳、久保田正人、山崎大、曾山和彦、Mahesh Ailavajhala, Kasandra Wolf, Maria Mitkova, M. W. A. Skoda, “光照射下の銀/アモルファス Ge カルコゲナイド薄膜の時分割中性子反射率測定”, 日本中性子科学会第 14 回年会, 2015 年 12 月 11 日, 北海道立道民文化センター “かでの 2・7”(北海道・札幌市)

Y. Sakaguchi, K. Munakata, M. Ishikado, Y. Yamauchi, W. Kambara, S. Ohira-Kawamura, Y. Kawakita, T. Yokoo, T. Aso, K. Aizawa, “Light irradiation experiments at J-PARC - installation and demonstration”, International Collaboration on Advanced Neutron Sources (ICANS) XXI, 2013 年 9 月 30 日、10 月 2 日, Ibaraki Prefectural Culture Center (茨城県・水戸市)

T. Aso, Y. Yamauchi, Y. Sakaguchi, K. Munakata, M. Ishikado, S. Ohira-Kawamura, T. Yokoo, M. Watanabe, S. Takata, T. Hattori, W. Kambara, T. Oku, Y. Kawakita, K. Aizawa, “Present Status of sample environment at J-PARC MLF”, International Collaboration on Advanced Neutron Sources (ICANS) XXI, 2013 年 9 月 30 日、10 月 2 日, Ibaraki Prefectural Culture Center (茨城県・水戸市)

坂口佳史、朝岡秀人、魚住雄輝、川北至信、伊藤崇芳、久保田正人、山崎大、曾山和彦、Mahesh Ailavahala, Kasandra Wolf, Maria Mitkova, Maximilian W. A. Skoda, “中性子反射率測定による Ge カルコゲナイド薄膜への銀の光拡散の研究 III”, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 2014 年 9 月 18 日, 北海道大学(北海道・札幌市)

坂口佳史、朝岡秀人、魚住雄輝、川北至信、伊藤崇芳、久保田正人、山崎大、曾山和彦、Mahesh Ailavahala, Kasandra Wolf, Maria Mitkova, Maximilian W. A. Skoda, “アモルファス Ge カルコゲナイド薄膜への銀の光拡散の中性子反射率測定による研究 III”, 日本物理学会 2014 年秋季大会, 2014 年 9 月 8 日, 中央大学春日井キャンパス(愛知県・春日井市)

Y. Sakaguchi, H. Asaoka, Y. Uozumi, Y. Kawakita, T. Ito, M. Kubota, D. Yamazaki, K. Soyama, M. Ailavajhala, M.R. Latif, K. Wolf, M. Mitkova and M. W. A. Skoda, “Dynamics of silver photo-diffusion into Ge-chalcogenide films: time-resolved neutron reflectometry”, 6<sup>th</sup> International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications, 2014 年 7 月 28 日, University of Leeds (リーズ(英国))

Y. Sakaguchi, H. Asaoka, Y. Uozumi, Y. Kawakita, T. Ito, M. Kubota, D. Yamazaki, K. Soyama, M. Ailavajhala, K. Wolf, M. Mitkova and M. W. A. Skoda, “Transient measurement for

photo-induced changes in J-PARC -time-resolved neutron reflectivity measurement for silver photo-diffusion into Ge-chalcogenide films”, The 2<sup>nd</sup> International Symposium on Science at J-PARC, 2014年7月14日, つくば国際会議場(茨城県・つくば市)

Y. Sakaguchi, H. Asaoka, Y. Uozumi, Y. Kawakita, T. Ito, M. Kubota, D. Yamazaki, K. Soyama, M. Ailavajhala, M. R. Latif, K. Wolf, M. Mitkova, M. W. A. Skoda, “Time-resolved neutron reflectivity measurements of Ag/Ge-chalcogenide films during illumination by visible light: investigation of the silver photo-diffusion kinetics”, Third International Workshop SKIN2014 - Studying Kinetics with Neutrons, 2014年3月25日, ラウエ・ランジュバン研究所(グルノーブル(フランス共和国))

坂口佳史, 朝岡秀人, 魚住雄輝, 川北至信, 伊藤崇芳, 山崎大, 曾山和彦, M. Ailavajhala, M.R.Latif, M. Mitkova, “照射下の銀ノアモルファス Ge カルコゲナイド薄膜の時分割中性子反射率測定”, 中性子科学会第13回年会, 2013年12月13日, さわかちば県民プラザ(千葉県・柏市)

坂口佳史, 朝岡秀人, 魚住雄輝, 川北至信, 伊藤崇芳, 山崎大, 曾山和彦, M. Ailavajhala, M.R.Latif, M. Mitkova, “アモルファス Ge カルコゲナイド薄膜への銀の光拡散の中性子反射率測定による研究 II”, 日本物理学会 2013年秋季大会, 2013年9月26日, 徳島大学(徳島県・徳島市)

坂口佳史, 朝岡秀人, 魚住雄輝, 川北至信, 伊藤崇芳, 山崎大, 曾山和彦, M. Ailavajhala, M.R.Latif, M. Mitkova, “中性子反射率測定法による Ge カルコゲナイド薄膜への銀の光散乱の研究 II”, 第74回応用物理学会秋季学術講演会, 2013年9月19日, 同志社大学(京都府・京田辺市)

Y. Sakaquchi, H. Asaoka, Y. Uozumi, Y. Kawakita, T. Ito, M Kubota, D. Yamazaki, K. Soyama, M. Ailavajhala, M. R. Latif, and M. Mitkova, “Time-resolved neutron reflectivity measurements for silver photo-diffusion in Ag/Ge-S films”, Light and Particle Beam in Materials Science 2013, 2013年8月29日, つくば国際会議場(茨城県・つくば市)

Y. Sakaquchi, H. Asaoka, Y. Uozumi, Y. Kawakita, T. Ito, M Kubota, D. Yamazaki, K. Soyama, M. Ailavajhala, M. R. Latif, and M. Mitkova, “Studies of Silver Photo-Diffusion Dynamics in Ag/Ge<sub>x</sub>S<sub>1-x</sub> (x=0.2 and 0.4) Films by Means of Neutron Reflectometry”, The 25th International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors, 2013年8月20日, University of Toronto (トロント(カナダ))

Y. Sakaguchi, T. Kawasaki, T. Hanashima (発表), T. Ito, T. Nakatani, Y. Inamura, R. Kiyonagi, K. Suzuya, Y. Kawakita, N. Miyata, M. Mizusawa, D. Yamazaki, M. Takeda, K. Soyama, M.

Ailavajhara, M. R. Latif, and M. Mitkova, “Investigation on In-plane Structure of Thin Films by Use of Grazing Incidence Neutron Diffraction - Test Experiment on Polarized Neutron Reflectometer at J-PARC -”, The 12th Asia pacific Physics Conference of AAPPS, 2013年7月18日, 幕張メッセ(千葉県・千葉市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

報告記事

坂口佳史, “SKIN2014 Studying Kinetics with Neutrons (SANS and Reflectometry)” 「波紋」 Vol.24, No.3, p. 215, 2014年.

6. 研究組織

(1)研究代表者

坂口 佳史 (SAKAGUCHI, Yoshifumi)  
総合科学研究機構・東海事業センター・  
利用研究促進部・副主任研究員  
研究者番号: 20397590

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者 なし