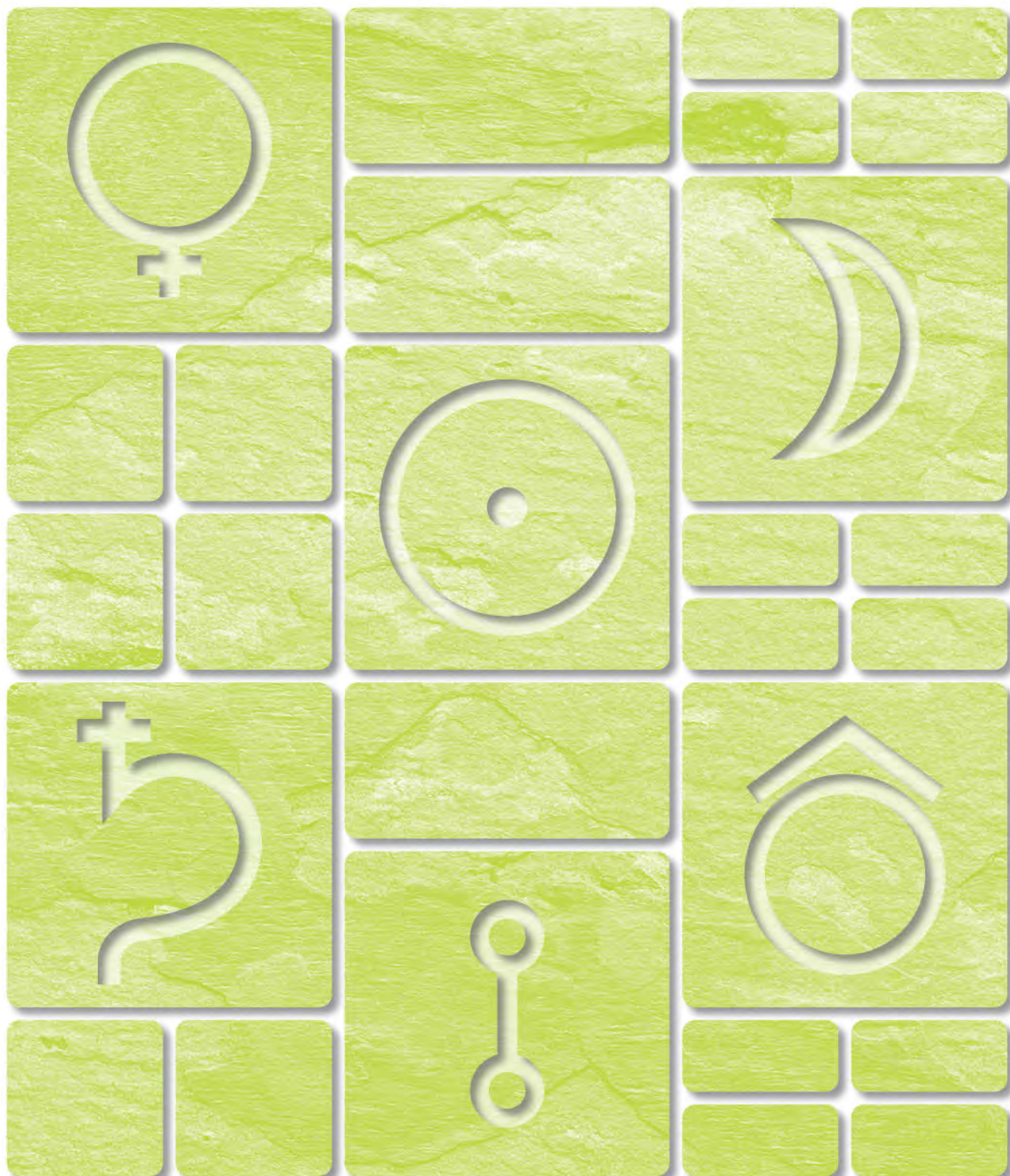


金広山

2・3
2025



2024 年度「日本鉱業協会賞」紹介

……日本鉱業協会…… (1)

政策動向

2025 (令和 7) 年度税制改正について (税制改正大綱の概要)

……日本鉱業協会 総務部…… (12)

新材料部会講演

面内超高密度量子ドットのエピタキシャル成長技術とその光電子デバイスへの応用

……電気通信大学 大学院情報理工学研究科 基盤理工学専攻 教授

電気通信大学 量子未来創生デバイス開発センター センター長 山口浩一…… (14)

部会報告

日本鉱業協会分析部会 2024 年現地研究会 見学記

—JAXA 能代ロケット実験場・小坂製錬所・DOWA テクノリサーチ小坂センター—

……三菱マテリアル株式会社 原田哲雄…… (26)

トピックス

非鉄大手 7 社-日本鉱業協会合同イベント「非鉄 DE&I フォーラム 2025」開催報告

……日本鉱業協会 総務部…… (29)

★日本鉱業協会の動き (31)

★主 な 出 来 事 (33)

★関 係 法 令 情 報 (36)

★編集部より

1月20日2次トランプ政権がスタートしました。就任早々、中国、カナダ、メキシコに対し、追加関税を発表し、その後も貿易国に対し一律関税や相互関税の導入検討など、様々な関税政策を矢継ぎ早に打ち出しております。また、米国に対する報復措置も発表され、今後更に世界的な貿易対立の激化が懸念されます。当協会が扱う鉱産物への影響もまだ見通せない状況にありますが、引き続きその動向についてウォッチしていきたいと考えております。今月号は2024年度日本鉱業協会賞を紹介しています。3月27日に当協会にて表彰式を執り行う予定となっております。受賞の皆様、誠におめでとうございます。

(図書室のご案内)

主に資源関係の図書(論文、学術書、法規、統計、定期刊行物等)を過去から継続して幅広く収集、蔵書としており、資源関係者は勿論、多くの方々に閲覧・貸出ししています。

尚、閲覧・貸出しは予約制としておりますので、希望される方は事前にご連絡お願い致します。

場 所：東京都千代田区神田錦町3丁目17番11号(榮葉ビル6階)

問合せ：(一財)日本鉱業振興会 E-mail: kozan@kogyo-kyokai.gr.jp (担当：五十嵐、富田)

Tel: 03-5280-2355 Fax: 03-5280-7128

2024 年度「日本鋳業協会賞」紹介

日本鋳業協会

2024 年度（第 75 回）「日本鋳業協会賞」は、審査委員会での慎重な審査を経て、2 月 21 日（金曜日）に開催された日本鋳業協会理事会において 正式決定されました。

今回の受賞者は、10 件 22 名であり、来る 3 月 27 日（木曜日）日本鋳業協会の会議室において開催される表彰式にて、関口会長より表彰状及び記念品が授与されます。

今回の受賞者及びその功績の概要を紹介します。

2024 年度（第 75 回）日本鋳業協会賞 受賞者一覧

No.	論 文 名	会 社 名		事 業 所 名	氏 名	推薦母体
		※	非会員会社			
1	遠隔自動走行 LHD の試験導入		住友金属鉱山株式会社	資源事業本部 菱刈鉱山 DX 推進室	小笠原 宏幸	資源部会
				資源事業本部 菱刈鉱山	渡辺 大志	
2	菱刈鉱山の鉱脈深部の特徴と探鉱適用への検討		住友金属鉱山株式会社	資源事業本部 探査部	原 彬	
				菱刈鉱山 探査課	有賀 成高	
		※	国立大学 九州大学	大学院工学府 地球システム工学専攻	笹井 智之	
				工学研究院 地球資源システム工学部門	今井 亮	
3	自熔炉作業環境の改善		住友金属鉱山株式会社	資源事業本部 技術部	岡上 祥典	製錬部会
4	グリーンハイブリッド製錬実現に向けた佐賀製錬所リサイクル原料の増処理について	※	JX 金属製錬株式会社	金属事業本部 東予工場	富永 高規	
				佐賀製錬所	岡本 弘晃	
				日立工場	宮永 旭	
				佐賀製錬所	戸田 勝弥	
5	フレコンサンプリングの効率化	※	住鉱テクノロジー株式会社	試料センター 試料グループ	井上 淳	分析部会
					稲田 英典	
6	RPA を用いた ICP 測定業務の効率化		住友金属鉱山株式会社	技術本部評価技術部青梅評価技術室	菅 綾乃	
7	硫酸工程 乾燥塔更新	※	日比製煉株式会社	日比製煉所	高澤 可奈	工務部会
8	DRK 塊排出装置の改善		株式会社四阪製錬所		笹原 大輝	
					寺田 尚人	
					島田 康平	新材料部会
9	異種元素ドーピングした $\text{Li}_x\text{Ni}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_2$ 正極材料の電気化学特性		住友金属鉱山株式会社	電池研究所	梅檀 祐暉	
					金田 治輝	
10	低熱伝導性窒化物薄膜の開発		三菱マテリアル株式会社	イノベーションセンター	安達 真樹	
					藤田 利晃	
計	10 件				22 名	

遠隔自動走行 LHD の試験導入

住友金属鉱山株式会社 資源事業本部 菱刈鉱山 DX 推進室 小笠原 宏 幸
住友金属鉱山株式会社 資源事業本部 菱刈鉱山 渡 辺 大 志

功績の概要

菱刈鉱山において遠隔自動走行 LHD (ロードホールダンプ) の試験導入を実施した。試験導入の目的は労働安全衛生上のリスク軽減と作業の効率化である。2022 年に 1 台目の遠隔自動走行 LHD を導入し、試験運転を開始した。試験では、積込みと充填工程における LHD の遠隔自動化と複数台の遠隔自動走行 LHD を一人のオペレーターで遠隔自動操作することにより、安全性と効率の向上を検証した。

安全性は、オペレーターが切羽に立ち入らないことにより、危険源を削除できた。環境衛生の観点でも粉塵・暑熱の暴露時間を削減することができた。また、自動運転による危険に対しては、自動遠隔運転区域を設定し、複数の進入防止、逸走防止バリアを構築することで安全を確保した。

作業効率は LHD 運転時間の最大化と複数台の同時操作の実現により改善できることが示された。

本試験で特に苦労した点は、ネットワークインフラの整備と遠隔自動走行技術の検証・運用手順作成プロセスである。試験中に挙げたリスクの対応等を時間をかけながら対応して構築した。

今後の課題として、遠隔自動 LHD の更なる運用効率化および掘進工程への適用拡大がある。これらに向けた計画として、遠隔操縦席や遠隔自動走行 LHD を増設し、継続的な試験とデータ収集を行う予定である。

実施時期

2022 年 12 月～2024 年 1 月

成 果

- ・ LHD の遠隔自動走行技術を導入したことで、坑内労働の安全性が大幅に向上した。具体的には、坑内作業による挟まれや落盤の危険や粉塵・暑熱環境の暴露時間を削減し、作業環境の改善に寄与した。
- ・ 坑外からの遠隔・自動作業の実施により連続作業時間の向上を実現し、作業の効率化を図った。
- ・ 一人のオペレーターが複数の自動走行 LHD を同時に監視・操作できるシステムを構築し、将来のオペレーター不足が予想される中、人的リソースの最適化に向けて、新たな可能性を示した。

菱刈鉱山の鉱脈深部の特徴と探鉱適用への検討

住友金属鉱山株式会社 資源事業本部 探査部	原 彬
住友金属鉱山株式会社 資源事業本部 菱刈鉱山 探査課	有 賀 成 高
国立大学法人九州大学 大学院工学府 地球システム工学専攻	笹 井 智 之
国立大学法人九州大学 工学研究院 地球環境資源システム工学部門	今 井 亮
住友金属鉱山株式会社 資源事業本部 技術部	岡 上 祥 典

功績の概要

菱刈鉱山は鹿児島県伊佐市に位置する鉱脈型金銀鉱床であり、1985 年 7 月に海拔 100m で出鉱を開始して以来、2024 年 3 月までに 260t 以上の金を生産している。現在、山命延長に資する開発レベルの拡大を目的とした新たな抜湯設備（抜湯室）の設置工事、および開発レベルの深部化がどこまで可能となりうるかを評価するための探鉱を実施している。その取り組みの一環として、開発レベルの下限を探るために菱刈鉱山での金の沈殿様式（金鉱化作用）に着目することで、下限深度の推定を試みた。

本調査では特定の鉱脈（本鉱床西部に位置する瑞泉 6 脈）をケーススタディーとして以下の解析を行った。

- ①顕微鏡観察による金の沈殿様式（金鉱化作用）の確認
- ②流体包有物マイクロサーモメトリーによる鉱脈を形成した熱水特性（温度、塩濃度）の把握
- ③古地下水面（鉱脈形成当時の地表面／地下水面）の推定
- ④深度－沸騰深度曲線による金鉱化下限（鉱脈最深部）推定

解析の結果、金の沈殿は沸騰と強く関連しており、深度－沸騰曲線から下限深度を推定することができた。

実施時期

令和 4 年 4 月～令和 6 年 3 月

成 果

これまで、深部域のターゲットを決定する判断材料が上部の既知範囲しかなく、上部レベルから徐々に評価する以外に方法はなかった。しかし、本手法を用いて各脈の金鉱化作用が生じる下限を把握することで深部ターゲットを効果的に選定し、深部域の評価を早めることができる。また、将来的にも本手法の適用性が高まれば、下限深度から必要な試錐探鉱量が評価でき、開発優先度の高い脈については探鉱費を集中できるなど、より効率的な探鉱および評価を実施することが可能となる。

自熔炉作業環境の改善

住友金属鉱山株式会社 金属事業本部 東予工場 富 永 高 規

功績の概要

金属事業本部東予工場では2020年より電気銅年間46万t生産体制の確立を目指し、各種取り組みを進めているが、そのためには自熔炉における精鉱熔解量の増加が必須であり、自熔炉反応安定化がボトルネックの1つとなっていた。また、工場の収益改善のため水燄スラグの銅ロスを低減させる必要があった。

当人は上記課題を解消すべく、精鉱バーナー開発に主担当者として取り組んできた。従来は自熔炉反応性悪化に起因するスラグ性状悪化、自熔炉リアクションシャフト熱負荷の偏り等が頻繁に発生しており、その結果精鉱減熔やスラグ銅ロス悪化等の弊害が生じていたが、当人は精鉱バーナー開発を進め①精鉱流への酸素供給方法の最適化、②バーナー位置調整の管理強化によるリアクションシャフト内反応均一化を図り、上記課題を解消し精鉱熔解量の増加と銅ロス低減を実現させた。

2024年10月からは自熔炉職場長として、職場全体のマネジメントを担い、更なる精鉱熔解量の増加と水燄スラグ銅ロス低減に努めている。

実施時期

2020年9月～2024年10月

成 果

- ・2024年上期の精鉱熔解量は3,963t/cdと過去最高の値を達成した。
その間の平均酸素効率 96.6% 、煙灰発生率は 2.8% であり、高いパフォーマンスを維持した。
- ・2024年上期の水燄スラグ銅ロスは対20年度 $\Delta 0.06\%$ 低減した。
これは約7億円/年の収益改善に相当する。

グリーンハイブリッド製錬実現に向けた 佐賀関製錬所リサイクル原料の増処理について

JX 金属製錬株式会社 佐賀関製錬所	岡 本 弘 晃
JX 金属製錬株式会社 日立工場	宮 永 旭
JX 金属製錬株式会社 佐賀関製錬所	戸 田 勝 弥

功績の概要

【背景】

今後益々拡大する銅需要を支える安定供給体制の構築と ESG（脱炭素や資源循環等）を重視した生産と供給という使命を果たすため、既存の精鋳製錬を効率的に活用しリサイクル原料処理増処理・最大化を図る「グリーンハイブリッド製錬」構想の一環として以下のようなリサイクル原料受入能力増強、物流効率化及び転炉工程でのリサイクル原料増処理に取り組んだ。

【取り組み】

1. 大分リサイクル物流センター（RLC）設置

大分港近傍に受入物流拠点「大分リサイクル物流センター」を設置し、リサイクル原料の受入能力増強を行った。RLC では従来より圧縮の能力を高めたプレス機によりプレス品の単位重量増と大型化を行った。また、製錬所と港間の電気銅輸送車両の活用（往復輸送）など、物流の効率化も併せて行った。

2. 転炉操業改善による部品屑、塊状金銀滓処理能力アップ

下記の取り組みを行った。

- ・造鍍期終点調整による Ni のスラグ移行量制御・・・アノード中 Ni 品位のコントロール
- ・造鍍期酸素濃度増加による溶湯温度調整・・・Al や Cr 酸化物上昇時のスラグ流動性の安定化によるスラグ中銅品位上昇やスラグの排出不良の解消
- ・故銅等装入用ボート大型化によるリサイクル原料の休風装入時間の短縮化・・・転炉操業回数増

実施時期

2021 年度

成 果

転炉におけるリサイクル原料処理量

2022 年度 約 1.2 倍（対 2020 年度比）

フレコンサンプリングの効率化

住鉱テクノリサーチ株式会社 試料センター 試料グループ 井 上 淳
住鉱テクノリサーチ株式会社 試料センター 試料グループ 稲 田 英 典

功績の概要

住鉱テクノリサーチでは、住友金属鉱山㈱で購入した各種原料、製品等から分析用試料の試料採取と試料調製を行っている。ニッケル精錬の主原料であるニッケル・コバルト混合硫化物（以下 MS と言う）は、フレキシブルコンテナバック（以下フレコンと言う）の荷姿で入荷し試料の採取はパイプ式試料採取器（以下サンプラーと言う）を用いて行っている。サンプラーを手動でハンマーによりフレコン内の MS に人力で打撃挿入し、人力で引き抜くサンプリング作業は一日に数百袋のフレコンから試料採取を行うため、体力的な作業負荷が大きく、腰痛等の災害リスクが潜在化する問題があった。

問題点を改善するために以下の検討を計画的に実施した。

1. サンプラーの MS への打撃挿入を機械化し作業負荷を低減する。
2. MS に打ち込んだサンプラーの引き抜きを機械化し作業負荷を低減する。
3. 試料採取作業を半自動化することで作業工数を削減する。
4. 採取機材の運搬を機械化し移動時の危険リスクを低減する。

実施時期

令和 3 年 10 月～令和 5 年 5 月

成 果

1. サンプラーのフレコン内 MS への打撃挿入を機械化し作業負荷を大幅に低減した。
2. MS に打ち込んだサンプラーの引き抜きを機械化し作業負荷を大幅に低減した。
3. 半自動化することで4名の交代作業が2名の交代なしの作業となり年間約60工の工数を削減した。
4. 採取機材の運搬を機械化し、機材を持って移動することが無くなり移動時の危険リスクを低減した。

RPA を用いた ICP 測定業務の効率化

住友金属鉱山株式会社 技術本部評価技術部青梅評価技術室 菅 綾 乃
住友金属鉱山株式会社 技術本部評価技術部青梅評価技術室 高 澤 可 奈

功績の概要

青梅評価技術室では、住友金属鉱山㈱で生産している材料製品等の製造工程管理分析や製品分析、研究開発に関する分析を実施している。近年、仕掛品削減や研究開発スピードアップのため分析リードタイム圧縮が求められている。

化学分析は、酸分解-ICP（OES または MS）分析が主であり、7 台の測定装置を使用して分析しているが、測定条件や測定試料名等の入力を繰り返す工程が多く、入力ミスがあれば再測定となり分析リードタイムが延びる。そこで、RPA ソフトウェア利用の可能性を調査し、ICP 分析に展開できることが判明したため、以下の RPA プログラムの開発を実施し、従来人手で行っていた入力作業をロボットで実施できるようにした。この改善により、入力ミスによる再測定削減を図り、分析リードタイム圧縮に貢献した。また、工数削減にも繋がった。

【開発プログラム】

①シーケンス作成プログラム

分析装置のソフトウェアに、測定試料の情報や順序を自動で入力するプログラム（2 人作業で 2,000～3,000 本/日入力していた作業を自動化）。

②解析後のデータ出力プログラム

上記①の分析結果を社内分析システムや精度管理ファイルに自動的に入力するプログラム。

③標準液情報をシーケンスに自動的に登録するプログラム

標準溶液を新しく作製した時に、溶液情報を自動的にシーケンスに登録するプログラム。

実施時期

令和 3 年（2021 年）10 月～令和 5 年（2023 年）3 月

成 果

従来人手で行っていた入力作業を RPA により自動化したことで下記の成果が得られた。

①人的な入力ミスによる再測定 0 件。

②分析結果報告遅延 0 件（分析リードタイム短縮：平均して 1 日）。

③シーケンス作成作業 85%削減（0.53 工/日）、解析後のデータ出力作業 58%削減（0.44 工/日）、標準液切り替え作業 75%削減することができた。

④上記③の工数削減により、至急分析や増産対応が可能となった。

⑤ICP 分析について、作業者の育成に要する教育時間短縮と早期戦力化を達成した。

硫酸工程 乾燥塔更新

日比製煉株式会社 日比製煉所 笹原大輝

功績の概要

2012 年、当社が所有する「硫酸工程 乾燥塔」の塔底から酸漏洩のトラブルが頻発した。系外への濃硫酸流出のリスクが高まり、補修の為、長期間操業を停止し大幅な減産となった。

原因は、塔の熱収縮により塔底レンガの目地が開き、そこへ濃硫酸が差し込んだことに起因する。濃硫酸はレンガと缶体の間で硫酸鉄を生成し、塔底レンガを浮き上がらせ、結果として底板を腐食、穴あきを発生させた。

外からの当て板補修が限界となったため、2022 年に乾燥塔を更新した。更新に当たり、原因への対策を含む以下の改善を行った。

1. 塔底の形状をフラット型から球状型に変更し、レンガをせり合わせることで目地の開きを防止した。
2. 缶体材質を SS400 から SUS304、SUS316L に変更し、耐酸性を確保、硫酸鉄の生成を抑えた。
3. 充填物のサイズを大きくすることで、乾燥塔の圧力損失を低減した。
4. 酸分散方式を分散皿からディストリビューターに変更し、酸分散効率（反応効率）を向上した。
5. レンガと缶体間にテフロンシートライニングを施し、耐酸性を確保した。
6. 塔底下に作業者が潜り込めるスペースを確保し、酸漏洩トラブル対応時の作業性を向上させた。

設備規模が大きく、スクラップアンドビルドでは定修でも工期が確保出来ない為、事前に新乾燥塔を空地に建設し、2022 年定修にて切り替えた。また、同様に酸漏洩のリスクを抱える他塔の更新に備え、旧乾燥塔を解体した。

実施時期

詳細設計～操業開始迄

2012 年 7 月～2022 年 11 月

成 果

乾燥塔からの酸漏洩トラブルのリスクをほぼ削減した。それに伴い、製煉所硫酸工程の安定操業へ貢献する事が出来た。

DRK 塊排出装置の改善

株式会社四阪製錬所 寺 田 尚 人
株式会社四阪製錬所 島 田 康 平

功績の概要

乾燥加熱キルンから排出される焼鋳は塊排出装置（以下グリズリー）にて塊鋳と粒状の焼鋳に分別され、粒状の焼鋳が製品として出荷される。グリズリーに使用しているライナーやメタルは、900℃以上ある焼鋳と直接接触するため、熱負荷が高く、取替え頻度が非常に多い。加えて交換する部品単価も高いため修繕費用が高額になる。

今回、近年単位生産量が増加し、部品の消耗速度が高くなってきているため、グリズリーの寿命延長及び修繕費削減に取り組んだ。

取り組んだ改善内容

1. グリズリーライナーの内部構造変更によるコスト削減
2. 乾燥加熱キルンの炉端形状変更による焼鋳の分散落下
3. グリズリーライナーの耐摩耗材変更による寿命延長
4. カムメタルグリス変更による注油ホース破れ防止と注油口詰まりの解消
5. カムメタルグリス変更によるメタルカバー寿命延長

実施時期

平成 27 年（2015 年）～令和 5 年（2023 年）

成 果

1. グリズリーライナー 1 本あたりの製作費を約 32%削減
2. 焼鋳生産量 10,000t あたりのグリズリーバー取替え本数が 2013 年は約 4.2 本に対し、2023 年は約 1.5 本と大幅に削減
3. カムメタルの注油ホース破れによる取替え数 2020 年 24 本、2021 年 25 本に対し、2022 年 7 本、2023 年 2 本と大幅に削減
4. カムメタルの補修費 2020 年～2021 年で 2,700 千円であったが、2022 年と 2023 年は補修しておらず寿命延長とコスト削減を達成

異種元素ドーピングした $\text{Li}_x\text{Ni}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_2$ 正極材料の電気化学特性

住友金属鋳山株式会社 電池研究所 梅 檀 祐 暉
住友金属鋳山株式会社 電池研究所 金 田 治 輝

功績の概要

世界的な LIB 市場の拡大に伴い、ハイニッケル系を中心とした LIB 正極活物質の高性能化、低コスト化を目的とした製品開発が行われている。低コスト化および資源リスクの観点から、コバルト (Co) を使用しない正極活物質の研究も盛んであり、当社では現在 Co を使用しない正極活物質のうち、特に資源量が豊富で低コストな鉄 (Fe) を用いた $\text{Li}_x\text{Ni}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_2$ (LNFO) に着目した。

実施時期

2022 年 4 月～2024 年 3 月

成 果

1. 異種元素添加を検討した結果、Ti、Sn の添加によって容量、サイクル特性などの電気化学特性が大きく改善することを明らかにした。
2. サイクル試験後の各種解析によって、Ti、Sn 添加による電気化学特性の改善効果は、Ti、Sn の Li 化合物が表面に偏析することによる表面劣化の抑制によって得られていることが示唆された。
3. バルクの劣化によって電気化学特性を引き出しにくいとされてきた LNFO においても、表面劣化の抑制によって十分に特性を引き出せる可能性があることが明らかとなり、今後の正極活物質設計において Fe が活用できることを示唆する重要な結果となった。

低熱伝導性窒化物薄膜の開発

三菱マテリアル株式会社 イノベーションセンター 安 達 真 樹
三菱マテリアル株式会社 イノベーションセンター 藤 田 利 晃

功績の概要

IoT 機器の発熱密度増大などの熱課題の克服には、熱マネジメントと省エネルギー化の両立を可能とする能動的熱制御ソリューションが待望され、材料技術としては固体の熱伝導と電気伝導の独立制御が求められる。一般的に高熱伝導材として用いられる窒化物半導体、絶縁体において、電氣的効果を用いずに熱伝導率を大幅に低減することを目的とする、熱伝導制御材料技術の確立を目指した。

遷移金属窒化物の共有結合性とイオン結合性の共存に着目し、先端のフォノンエンジニアリング技術、及び、薄膜熱伝導評価技術を駆使した、当社独自の材料設計戦略のもと、

- ・クロム、タングステンを含む窒化ケイ素系半導体薄膜
- ・タンタル、ハフニウムを含む窒化ケイ素系絶縁体薄膜

において、反応性スパッタリング法による低熱伝導性窒化物薄膜の開発を実施した。

実施時期

平成 31 年 4 月～令和 4 年 3 月

成 果

- ・窒化物半導体材料、窒化物絶縁体材料それぞれにおいて、業界初の 1W/mK （ワット毎メートル毎ケルビン）未満の極めて低い熱伝導材料を開発した。窒化物セラミック材料にて、有機材料に匹敵する低い熱伝導率を実現した。
- ・窒素空孔の粒内散乱増大効果を主とする業界初の熱伝導低減メカニズムを解明した。フォノンの散乱機構が明確化された熱伝導の学術的理解を深めた。
- ・革新的熱制御材料を用いたサーマルデバイスの設計にあたり、ベースとなる、電気伝導と熱伝導の独立制御を可能とする材料設計技術を獲得した。

2025（令和 7）年度税制改正について （税制改正大綱の概要）

日本鉱業協会 総務部

令和 7 年度税制改正大綱が、2024 年 12 月 27 日に閣議決定されました。以下に、当業界に特に影響のある主要な項目についてのみ、その概要を記します。なお、今後の国会における改正法案審議の過程において、一部項目の修正・削除・追加などが行われる可能性があることにご留意下さい。

I 令和 7 年度税制改正の基本的な考え方

物価上昇局面における税負担の調整及び就業調整対策の観点から、所得税の基礎控除の控除額及び給与所得控除の最低保障額の引上げ並びに大学生年代の子等に係る新たな控除の創設を行う。老後に向けた資産形成を促進する観点から、確定拠出年金（企業型 DC 及び iDeCo）の拠出限度額等を引き上げる。成長意欲の高い中小企業の設備投資を促進し地域経済に好循環を生み出すために、中小企業経営強化税制を拡充する。国際環境の変化等に対応するため、防衛力強化に係る財源確保のための税制措置、グローバル・ミニマム課税の法制化、外国人旅行者向け免税制度の見直し等を行う。これらにより、「賃上げと投資が牽引する成長型経済」への移行を実現し、経済社会の構造変化等に対応する。

II 各税制の概要

1. 鉱業関連税制

（1）探鉱準備金又は海外探鉱準備金制度及び新鉱床探鉱費又は海外新鉱床探鉱費の特別控除制度（減耗控除制度）

- ・次の措置を講じた上、その適用期限を 3 年延長する。

①探鉱準備金又は海外探鉱準備金制度の積立

限度額について、当該事業年度開始の日前 5 年以内に開始した各事業年度における新鉱床探鉱費の額又は国外にある鉱物に係る新鉱床探鉱費の額の合計額が零である場合には、現行の積立限度額から、次のイの金額からロの金額を控除した残額（現行の積立限度額に 25% を乗じて計算した金額を限度とする。）を控除することとする。

- イ 当該事業年度における次の金額の合計額
- （イ）積立て後 5 年を経過した探鉱準備金又は海外探鉱準備金の取崩しにより益金の額に算入される金額
 - （ロ）探鉱準備金又は海外探鉱準備金の任意の取崩しにより益金の額に算入される金額

ロ 当該事業年度における新鉱床探鉱費の額及び探鉱用機械設備の償却額の合計額又は国外にある鉱物に係る新鉱床探鉱費の額及び海外探鉱用機械設備の償却額の合計額

（注）上記の改正は、令和 8 年 4 月 1 日以後に開始する事業年度から適用する。

②海外探鉱準備金制度における国内鉱業者に準ずる法人の要件のうち「その法人の有する議決権割合が 50% 以上である外国法人にその法人の役員及びその法人又はその子会社の技術者が派遣されていること」との要件について、役員に重要な使用人を加えるとともに、技術者から重要な使用人を除外する。

（2）海外投資等損失準備金制度

- ・適用期限が令和 7 年度末のため今次改正なし。

(3) 軽油引取税の課税免除の特例措置

- ・適用期限が令和 8 年度末のため今次改正なし。

2. 他産業に共通するもの

(1) 中小企業経営強化税制の拡充等

- ・特定経営力向上設備等に、その投資計画における年平均の投資利益率が 7%以上となることが見込まれるものであること及び経営規模の拡大を行うものとして経済産業大臣が定める要件に適合することにつき経済産業大臣の確認を受けた投資計画に記載された投資の目的を達成するために必要不可欠な設備（機械装置、工具、器具備品、建物及びその附属設備並びにソフトウェアで、一定の規模以上のもの）を追加するほか、所要の見直しを行う。

(2) 固定資産税の課税標準の特例措置の延長等

- ・中小企業等経営強化法に規定する先端設備等導入計画に基づき、中小事業者等が取得する生産性向上や賃上げに資する一定の機械・装置等に係る固定資産税の課税標準の

特例措置について、対象資産を雇用者給与等支給額の引上げの方針を位置づけた同計画に基づき取得する一定の機械・装置等に限定する等の見直しを行った上で、適用期限を 2 年延長する。

(3) グローバル・ミニマム課税への対応

- ・軽課税所得ルールに対応するため、各対象会計年度の国際最低課税残余额に対する法人税（仮称）の創設等を行う。
- ・国内ミニマム課税に対応するため、各対象会計年度の国内最低課税額に対する法人税（仮称）の創設等を行う。

(4) 防衛特別法人税（仮称）の創設

- ・法人税額に対し、税率 4%の新たな付加税を課す。
- ・令和 8 年 4 月 1 日以後に開始する事業年度から適用する。
- ・課税標準となる法人税額から 500 万円を控除する。

以上

面内超高密度量子ドットのエピタキシャル成長技術と その光電子デバイスへの応用

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 基盤理工学専攻 教授

電気通信大学 量子未来創生デバイス開発センター センター長 山口浩一

1. はじめに

量子ドット内の電子は、3次元量子閉じ込め効果によって完全に離散的でエネルギー準位幅（均一幅）の狭い量子準位をもち、その量子準位に異なるスピンの2個の電子が占有できることから、量子ドットは人工原子とも呼ばれている。そのユニークな性質を利用した多種多様な光電子デバイスへの応用が期待されている。量子ドットを半導体レーザの活性層に導入した量子ドットレーザは、1982年頃から理論計算により低いしきい電流、高い温度安定性、高温動作、高速変調などの優れた特性が予測され¹⁻³⁾、1990年頃から量子ドットの結晶成長法の開発が盛んに進められてきた。特に、量子準位の揃った高均一でかつ高密度の量子ドットの作製技術の開発が世界中で競われてきた。また、量子ドットを用いた中間バンド型太陽電池への応用では、1997年に詳細平衡理論に基づく計算により60%を超える高い電力変換効率が示され⁴⁾、そのためには高い集光度でかつ極めて高い量子ドット密度が必要であることが示された^{5,6)}。量子ドットレーザおよび量子ドット太陽電池の開発において、高均一な量子ドットを高密度に作製する成長技術として、量子ドット層を多重に積層した積層成長技術が一般的に用いられている。量子ドットレーザでは活性層内に積層された量子ドット層を増すことで利得を高めるが、活性層膜厚の制限により積層数も10層程度に抑える必要がある。そのために長い共振器長や高反射コーティングを施して共振器損失を低下させる

必要があった。また、中間バンド型量子ドット太陽電池の場合は、pn接合の空乏層内に量子ドット層を近接積層した量子ドット超格子構造が用いられ^{7,8)}、近接積層の量子ドット間での電子的な強結合によって形成された1次元ミニバンドの活用が試みられている。しかし、例えばAir Mass (AM) 1.5の100倍集光にて40%の電力変換効率を得るには、量子ドット総密度が $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 以上も必要であると理論計算で示され⁶⁾、通常の面内密度の低いエピタキシャル成長による量子ドットの場合には積層数が600層以上も必要となる。したがって、量子ドットの面内密度をさらに増加させるエピタキシャル成長技術の開発は必要不可欠な重要課題の一つである。

筆者らのグループは、1993年頃からストランスキー・クラスタノフ (SK) 成長モードを用いたGaAs層上へのInAs量子ドットの成長に関する研究を開始し、2000年には量子ドットサイズが自己制限される効果を見出し、従来にない高均一な量子ドットの成長に成功した⁹⁾。また2005年にはSb原子層の導入によりInAs量子ドットの高均一で高密度化 ($1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$) の手法を開発し¹⁰⁾、さらに2012年以降では、Sb導入法の改良により $3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ から $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ の面内超高密度化に成功した¹¹⁻¹⁴⁾。本稿では、筆者らのグループによるInAs面内超高密度量子ドットのエピタキシャル成長技術について述べ、面内超高密度量子ドットにおける隣接量子ドット間の電子的な強結合状態の実証について解説する^{15,16)}。さらに、面内超高密度量子ドット層の

高い光伝導特性について説明し、その集光型量子ドット太陽電池¹⁷⁾および量子ドットレーザ¹⁸⁾への応用について解説する。

2. 面内超高密度量子ドットのエピタキシャル成長技術

SK 成長モードを利用した量子ドットのエピタキシャル成長法では、基板結晶とエピタキシャル成長結晶との格子不整合量による格子歪エネルギーと結晶安定化のエネルギーバランスにより、2次元成長から3次元成長へ遷移する。その3次元成長過程において転位の発生しない良質な3次元島構造を量子ドットとして自然形成させる手法である¹⁹⁾。通常のSK成長法では、低い成長温度、高い成長速度、高いAs圧の条件において、量子ドットの面内密度を $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ 程度にまで高めることが可能であるが、ドットサイズの不均一性だけでなく、隣接量子ドット間の接近によってドット同士の合体（コアレスセンス）が起こりやすくなる。この合体現象によってドットサイズが急増するために歪エネルギーが増し、転位の発生を引き起こす問題があった。そこで筆者らは、InAs量子ドットのSK成長の前のGaAsバッファ層上にSb原子層を堆積させる手法を考案した¹⁰⁾。このSb導入法では、InAs

成長中にSb原子が表面偏析しながらInAs層に取り込まれ、格子歪の効果によってInAsSb細線構造が自然形成されることが分かった。そのInAsSb細線構造上では3次元核形成の起こりやすいステップ端密度が高く、またSb原子が表面偏析した細線構造上ではIn原子の表面マイグレーションも抑制されるために、 $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ の高密度InAs量子ドットがエピタキシャル成長されることが分かった。さらに、表面偏析したSb原子によってInAs量子ドット同士のコアレスセンスが抑制されるサーファクタント効果も観測され、従来よりも高密度でかつコアレスセンスの少ない良質な高密度InAs量子ドットの作製に成功した^{10,20)}。このSb導入効果に加えて、量子ドットサイズの縮小やGaAsSbバッファ層の導入によるアンサンブル3次元ドット間のライプニング現象の抑制効果によって $3 \sim 5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ の高密度化を達成した^{11,14)}。さらにGaAsバッファ層上へのInAsSb濡れ層（WL）の導入により、2次元InAsSb層の表面ステップ密度をさらに増加させ、かつ上述のSb導入効果によって世界最高の面内密度 $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ のInAs面内超高密度量子ドットのエピタキシャル成長に成功した^{12,13)}。図1には、通常のGaAs上のInAs量子ドット（a）（密度 $5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ ）、Sb/GaAs上の高密度InAs量子

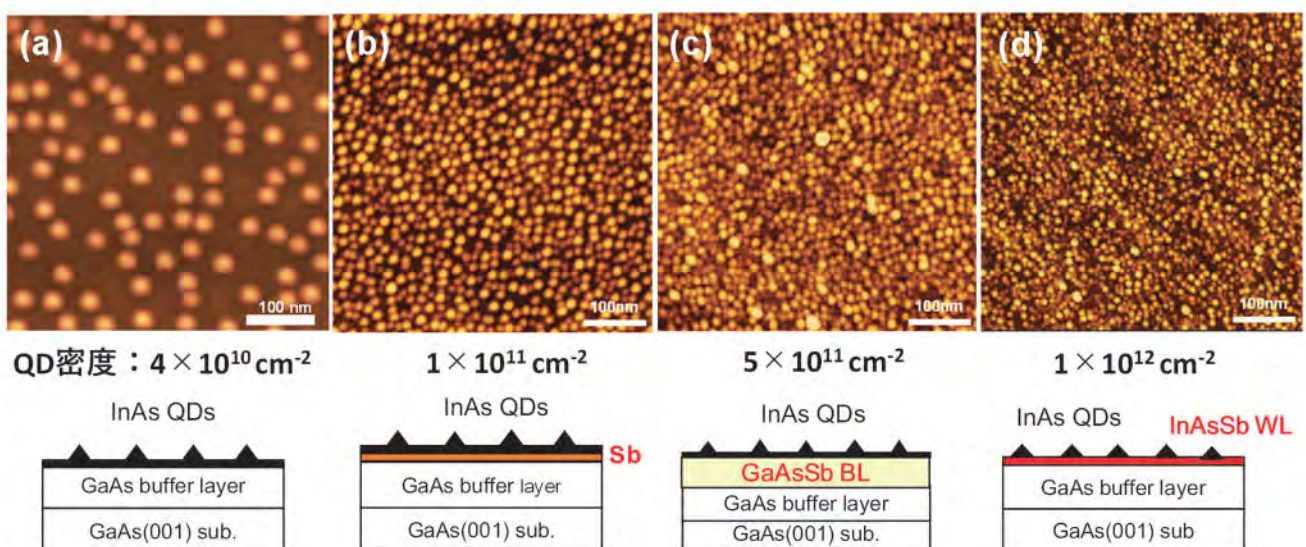


図1 (a) GaAs上のInAs量子ドット、(b) Sb/GaAs上の高密度InAs量子ドット、(c) GaAsSb/GaAs上の超高密度InAs量子ドット、(d) InAsSb/GaAs上の超高密度InAs量子ドットの原子間力顕微鏡（AFM）像と断面構造図

ドット (b) ($1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$)、GaAsSb/GaAs 上の超高密度 InAs 量子ドット (c) ($5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$) そして InAsSb/GaAs 上の超高密度 InAs 量子ドット (d) ($1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$) の原子間力顕微鏡 (AFM) 像をそれぞれ示す。

3. 面内超高密度量子ドットの面内強結合遷移

人工原子である量子ドットが近接して電子的な強結合が起これと、量子ドットの量子準位は結合軌道準位と反結合軌道準位とに分裂して所謂「量子ドット分子」を形成する。InAs 量子ドット分子の形成は、2 層の量子ドット層を近接積層した構造について、分裂した発光スペクトルの観測により初めて実証された²¹⁾。しかし、量子ドット層の面内での強結合については、面内密度が低く量子ドット間距離が離れているため実証例はほとんどなかった。筆者らが開発した面内超高密度 InAs 量子ドットでは、面内での隣接量子ドット間の距離が約 4 nm 以下と近接しているため、量子ドット間での波動関数の重なりは十分期待される。ただし、面内超高密度量子ドットのサイズ分布は比較的広く不均一であるため、隣接量子ドット間の量子準位の不整合の問題がある。そこで、筆者らは量子準位のエネ

ルギー幅（均一幅）の温度上昇による拡がりに着目し、温度上昇によって隣接量子ドット同士が面内で電子的強結合が形成されやすくなると予測し、実験とそのシミュレーションを試みた¹⁵⁾。

図 2 に示すように、面内超高密度 InAs 量子ドット ($1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$) のフォトルミネッセンス (PL) スペクトルの温度依存性を調べ、PL スペクトルの低エネルギー側の PL 立ち上がりエネルギーに着目し、低密度 InAs 量子ドット ($1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$) と比較した。PL 立ち上がりエネルギーの温度依存性を図 3 に示す。低密度量子ドット試料では、PL 立ち上がりエネルギーの温度依存性は禁制帯幅の温度依存性 (Varshni シフト) に従って低エネルギーシフトするが、面内超高密度量子ドットの場合は、90 K 以上では Varshni シフトよりも大きく低下する現象が観測された。前述したように、温度上昇によって量子準位の均一幅が拡がり、隣接量子ドット間で強結合が起こりやすくなり、結合軌道準位の低エネルギー状態からの発光遷移によって Varshni シフトよりもさらに低エネルギーシフトが起こったものと考察される。PL 立ち上がりエネルギーに注目したのは、サイズの大きな隣接量子ドット間での強結

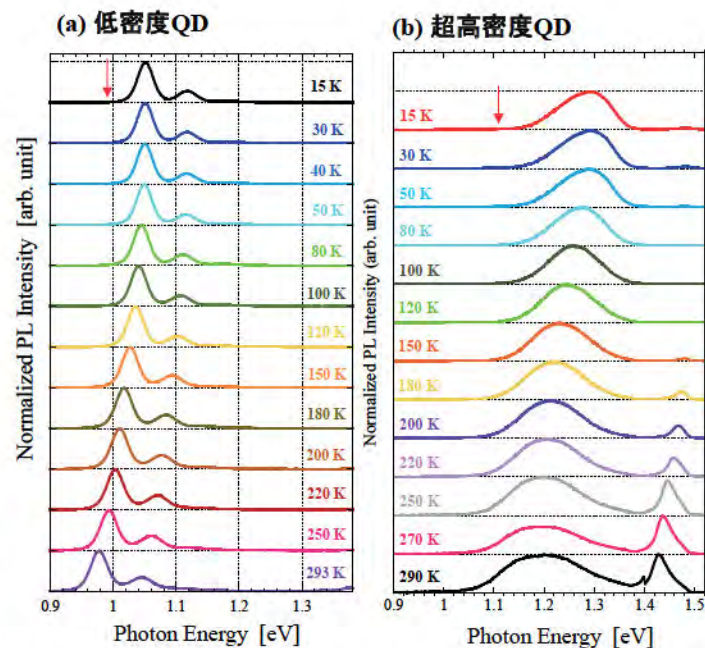


図2 低密度 InAs 量子ドット (a) と超高密度 InAs 量子ドット (b) の PL スペクトルの温度依存性

合による低エネルギーシフトが観測されやすいためである。したがって、サイズの大きな隣接量子ドット間での面内強結合が 90 K 付近から起こり始め、220 K 以上で強結合状態への遷移がほぼ収束し、再び Varshni シフトに従う特性を示したものと考えられる。本研究では、実際の AFM 像から観察された量子ドットのサイズおよびドット間距離のデータを基に、量子ドットを 100×100 のメッシュ上にランダムに配置し、温度上昇に伴う隣接量子ドット間の強結合状態への遷移を計算し、実験の PL スペクトルに対応するアンサンブル量子ドットの量子準位分布（スペクトル）の立ち上がりエネルギーの温度依存性を計算した。その結果も図 3 (b) に示すように、面内超高密度量子ドットの PL 立ち上がりエネルギーの温度依存性を再現することができ、面内での強結合遷移モデルを検証することができた。また図 3 (c) には、50 K、150 K、295 K における 100×100 の量子ドットの面内における電子的強結合状態の量子ドット（赤いドット）分布のシミュレーション結果も示す。強結合率は 50 K での 3 %の状態から 295 K では 48 %に

も上昇し、約半数の量子ドットが強結合状態に遷移したことが示された。こうした面内強結合の量子ドット層は、量子ドット物性の新たな展開を拓き、量子ドット層における電子の面内輸送効果（ミニバンド伝導、トンネル伝導）による新たな光電子デバイスへの応用も期待される。

4. 面内超高密度量子ドット層の光伝導特性

面内超高密度 InAs 量子ドット ($1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$) 層上に GaAs キャップ層（膜厚 60 nm）を成長し、その表面に 4 端子の Au/AuGe 電極を形成した光伝導素子を作製した。波長 925 nm の励起光を端子間の中央部（直径約 100 μm ）に照射して 2 端子間での電流・電圧特性を調べた。図 4 には光伝導素子の表面写真を示し、また 120 K (a) と 180 K (b) における光電流密度 (J)・電界強度 (E) 特性を示す。925 nm (1.34 eV) の励起光では、量子ドットの第 1（または第 2）励起準位間での選択励起に相当する。120 K 以上では量子ドット準位を介した 2 段階光励起効果は弱く、比較用の低密度 InAs 量子ドット素子における主要な光電流メカニズムは、図中に示したように、

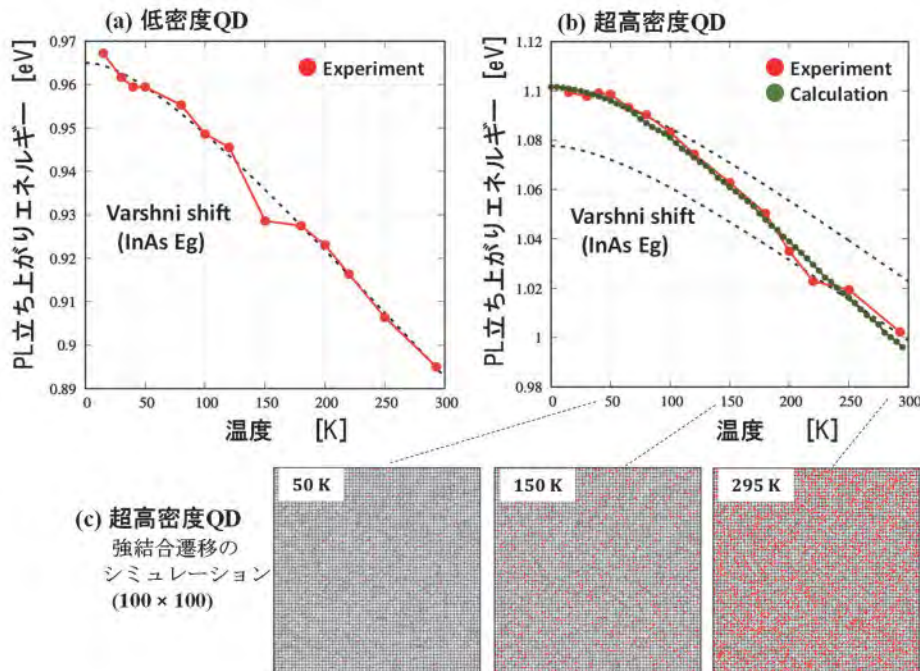


図3 低密度InAs量子ドット (a) と超高密度InAs量子ドット (b) のPL立ち上がりエネルギーの温度依存性（実験と計算）および超高密度量子ドットの面内強結合遷移のシミュレーション（赤：強結合ドット）

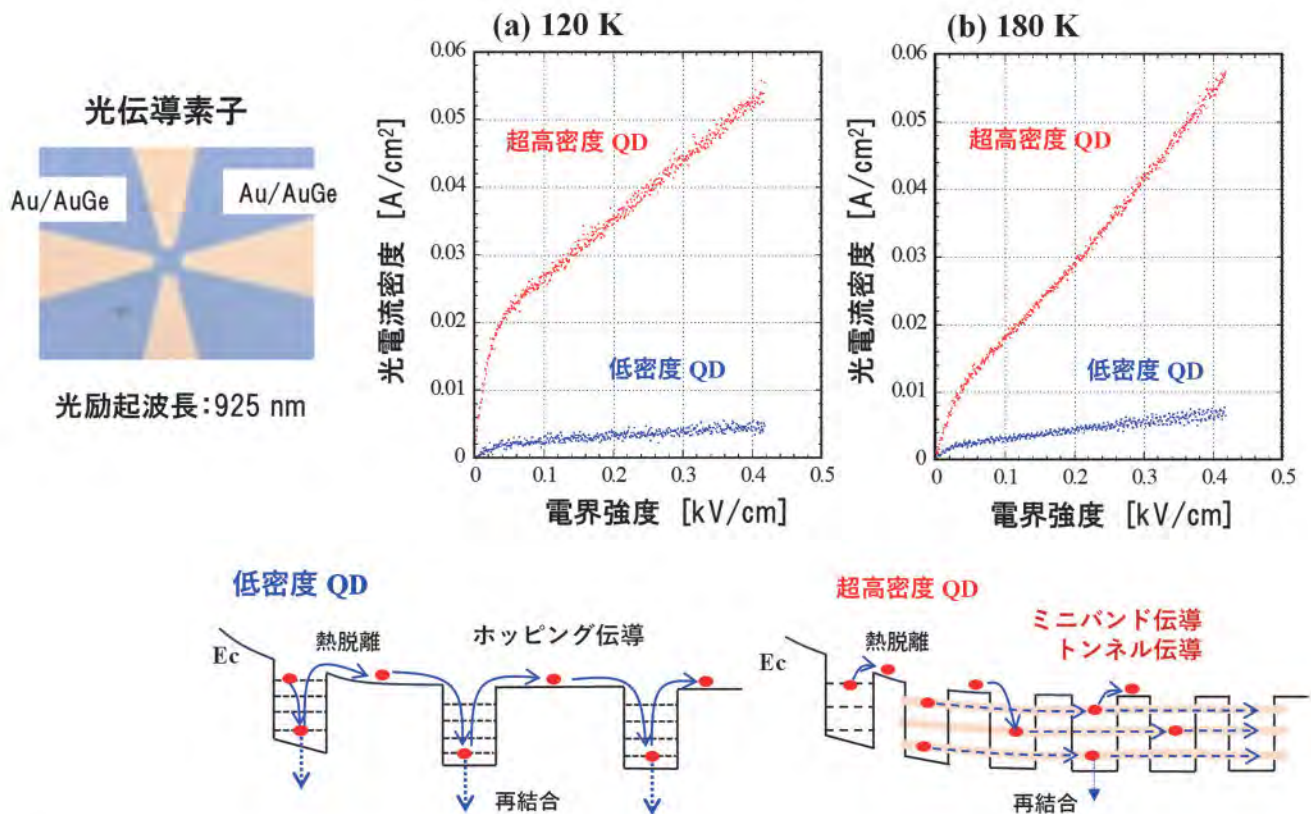


図4 光伝導素子の表面写真、低密度InAs量子ドットと超高密度InAs量子ドットの光電流密度と電界強度の関係 (120 K (a)、180 K (b)) と伝導メカニズムの違い

量子ドット内の光励起電子のGaAs伝導帯への熱励起と量子ドットへの再捕獲を繰り返すポッピング伝導が考えられる。しかし、量子ドット内でのキャリアの再結合消滅も起こるため光電流は低くなることが知られている。一方、面内超高密度量子ドット素子の電界強度 0.3 kV/cm における光電流密度は、比較用の低密度量子ドット素子に比べて120 Kで11倍、180 Kで8.4倍も高い光電流値が観測された。前節でも述べたように、約90 K以上で面内での電子的強結合が形成され、温度上昇とともに強結合領域が広がり、ミニバンドの形成も想定される。特に、量子準位の高い励起準位では波動関数の広がりも大きくなるため、隣接量子ドット間でより強結合が起こりやすくなる¹⁶⁾。したがって、面内超高密度量子ドット素子の場合、ホッピング伝導よりも隣接量子ドット間におけるミニバンド伝導およびトンネル伝導が起こりやすくなり、移動度が高くなるだけでなく、量子ドット内で

のキャリアの再結合も抑制されることが期待され、その結果、光伝導度が増大したものと考えられる。

5. 面内超高密度量子ドット層を導入した集光型太陽電池

一般に、太陽電池の楕型電極間の距離が広く有効な受光面積が広がると、集光度の増加にともない太陽電池特性が劣化し、電力変換効率が低下する問題がある。前節の面内超高密度量子ドット層における光伝導度の増大効果と同様に、楕形電極間距離の広いGaAs太陽電池に面内超高密度InAs量子ドット層を導入することによって集光特性が改善されることについて以下に解説する¹⁷⁾。

図5に示すように、面内超高密度InAs量子ドット ($1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$) 層を導入したGaAs太陽電池の量子ドット層上の近くにGaAsSb層を導入し、電子と正孔を空間分離したtype-IIバンド構造

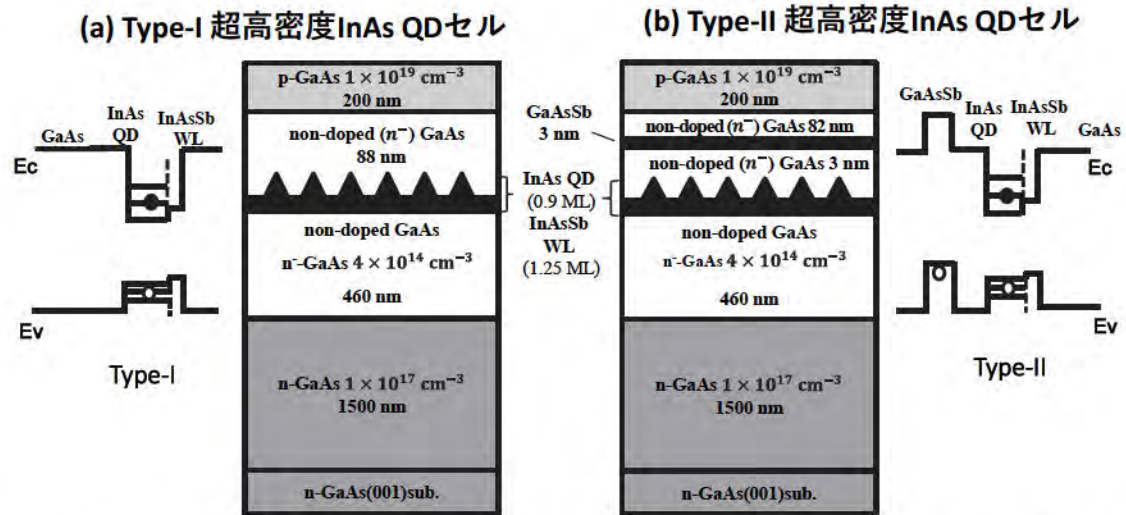


図5 面内超高密度 InAs QD 層を導入した GaAs 太陽電池構造図とエネルギーバンド図 (type I 型 (a)、type-II 型 (b))

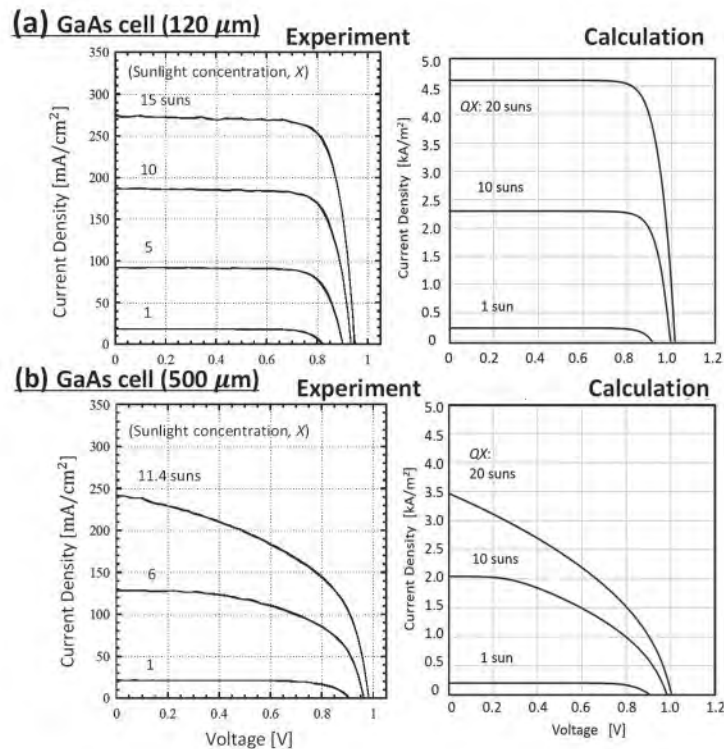


図6 GaAs 太陽電池の電流密度－電圧特性の集光度依存性（実験結果と計算結果、電極間距離 120 μm (a)、500 μm (b))

のセル (b) と、GaAsSb 層のない type-I バンド構造のセル (a) の 2 種類を作製し、その集光特性を調べた。はじめに、面内超高密度 InAs 量子ドット層の無い参照用 GaAs セルの楕型電極間隔が 120 μm (a) と 500 μm (b) の 2 種類について、電流密度 (J)・電圧 (V) 特性の集光度依存性

の実験結果と計算結果の両方を図 6 に示す。楕形電極間距離が 120 μm (a) のセルでは、集光度を増加させても J - V 特性の曲線因子 (Fill Factor, FF) には大きな変化はないが、楕形電極間距離が 500 μm (b) の広いセルでは、集光度を上昇させると FF 値が大きく低下すること

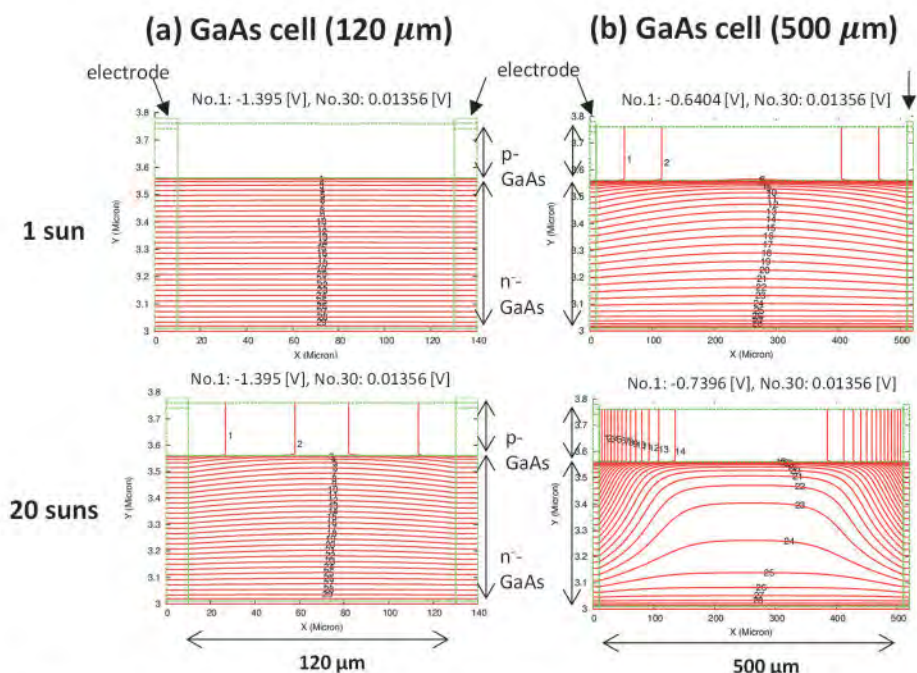


図7 GaAs太陽電池内の電位分布の計算結果 (1 sun (a)、20 suns (b))

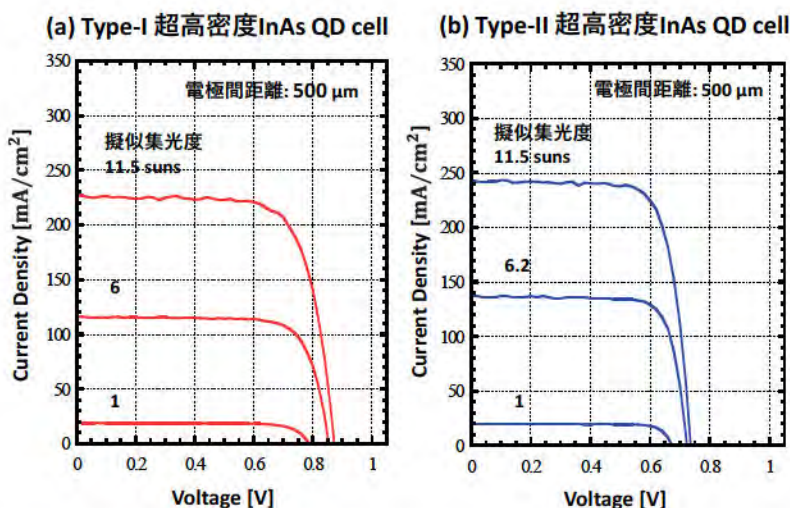


図8 InAs UHD QD太陽電池の電流密度－電圧特性の集光度依存性 (電極間距離 500 μm 、type-I型 (a)、type-II型 (b))

が分かる。この現象はデバイスシミュレーター (APSYS) の計算結果でも同様に実験結果の J - V 特性の集光度依存性が再現される。この要因を調べるために、GaAs セルの楕形電極間距離が 120 μm (a) と 500 μm (b) の両セルについて、それぞれ 1 sun と 20 suns のときの電位分布を計算した。その結果を図 7 に示す。120 μm (a) のセルでは、集光度が 1 sun や 20 suns でも n-GaAs 層内では縦方向のみの様な電界が発生し、表面の p-GaAs 層内では電極間の横方向の電

界によってキャリアが輸送されることが分かる。しかし、500 μm (b) の広いセルでは、集光度が 1 sun のときは n-GaAs 層内ではほぼ縦方向の電界が発生しているが、20 suns になると n-GaAs 層内には大きな横方向の電界分布が発生し、電極間の中央部では縦方向の電位勾配が低くなっているのが分かる。集光度が高くなると光励起キャリア濃度が増し、電子濃度の低い ($4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$) n-GaAs 層の空乏層内に横方向の電圧降下が発生し、pn 接合に垂直な縦方向電界の低下によ

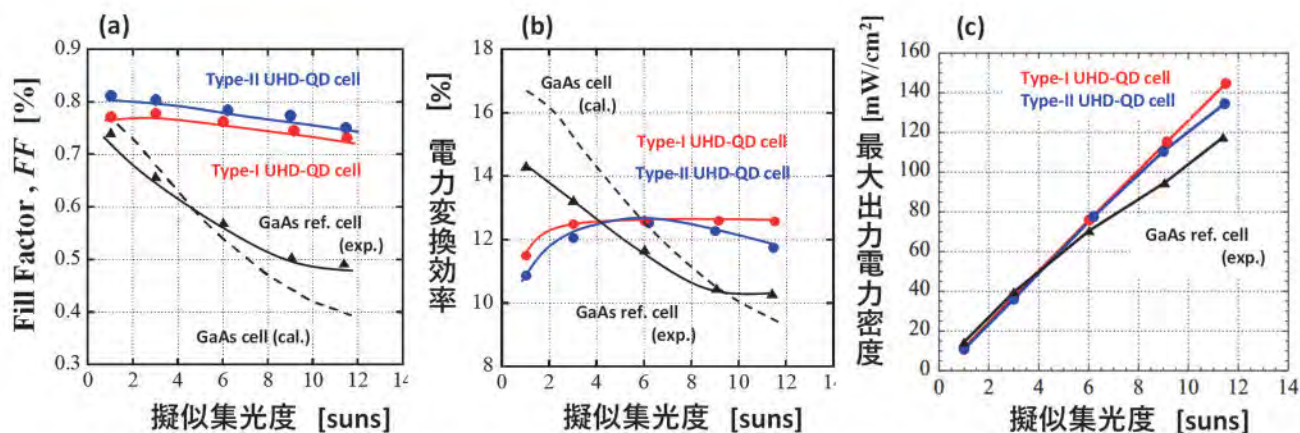


図9 InAs UHD QD太陽電池とGaAs太陽電池の FF (a)、電力変換効率 (b)、最大電力密度 (c) の集光度依存性 (電極間距離 500 μm)

って光電流のドリフト効果が弱まり、 J - V 特性の FF 値が低下したものと考えられる。

一方、図8には楕型電極間隔が500 μm のtype-Iの面内超高密度InAs量子ドットセルとtype-II面内超高密度InAs量子ドットセルの J - V 特性の集光度依存性をそれぞれ示す。両量子ドットセルの1 sunから11.5 sunsでは、図6(b)のGaAsセルで観測されたような J - V 特性の劣化はなく、高い FF 値を維持していることが分かる。この面内超高密度量子ドット層の導入による集光特性の改善は、面内超高密度量子ドット層における電子の面内輸送効果と2段階光励起効果の促進によるものと考えられる。3節でも述べたように、面内超高密度InAs量子ドット層のPLスペクトルの特異な温度依存性の解析により、面内超高密度量子ドットの隣接量子ドット間における面内での電子的強結合の発生を実証した^{6,7)}。電極間距離の大きい(500 μm)楕型電極構造で、高い集光度による高濃度の光生成キャリアが横方向電界によってドリフト輸送される際に、面内強結合した面内超高密度量子ドット層内で生成された電子および面内超高密度量子ドット層内にトラップされた電子が、その横方向電界によって面内超高密度量子ドット層内を電極間の中央部に向かってバンド伝導およびトンネル伝導される。よって、電極間の中央部付近の面内超高密度量子ドット層内の電子濃

度は高まり、量子ドットの間バンドからGaAs伝導帯への2段階光励起効果が促進されたものと考えられる。また、InAs量子ドット内の正孔は有効質量が大きいため量子ドット間での強結合は起こり難く孤立した量子ドット状態でかつ正孔の量子準位も浅いため、面内超高密度量子ドット層内の正孔はGaAs価電子帯に熱的に励起され、電子とは逆方向の電極側に向かって流れることにより、面内超高密度量子ドット層内のキャリアの再結合も抑制されたものと考えられる。type-I型とtype-II型の面内超高密度量子ドットセルにおいて大きな差が観測されなかったのも、上述のことから説明ができる。以上より、面内超高密度量子ドット層における電子の面内輸送効果と2段階光励起効果の促進によって集光特性が改善されたものと考えられる。

図9には各セルの FF 値(a)、電力変換効率(b)、最大出力電力密度(c)の擬似集光度依存性をそれぞれまとめて示す。参照用GaAsセルでは、集光度が高くなるほど FF 値の低下に伴って電力変換効率も急激に低下するが、面内超高密度量子ドットセルの電力変換効率は集光度の増加とともに上昇し、約4倍以上の集光度でGaAsセルよりも高くなることが分かった¹⁷⁾。10倍集光時の両面内超高密度量子ドットセルの最大出力電力密度は、参照用GaAsセルの値と比べて約20%も増大することが分かった。

6. 面内超高密度量子ドット層を導入した半導体レーザ

量子ドットレーザの開発では、利得を高めるために量子ドット層を多数（10 層程度）積層した構造の導入や、共振器損失を低下させるために長い（1 mm 以上）共振器長や共振端面の反射率を高めた共振器構造が作製されている。著者らは、前述した GaAsSb/GaAs 層上の面内超高密度 InAs 量子ドット層を 2 層だけ活性層内に導入し、しかも 200～800 μm の短い共振器長で高反射膜も施さないリッジ導波路型の量子ドットレーザを試作した¹⁸⁾。そのレーザ構造の概略図を図 10 に示す。

図 11 (a) には、面内超高密度 InAs 量子ドットレーザ（共振器長 758 μm ）の電流・光出力（I-L）特性の温度依存性を示す。室温以上の高温でも

連続注入において安定なレーザ発振を確認することができ、しきい電流の温度依存性より特性温度は 77 K と見積もられた。この値は既に報告されている p 型変調ドーピングのない量子ドットレーザの特性温度（30–85 K）の中でも高い値である。図 11 (b) には、面内超高密度 InAs 量子ドットレーザ（共振器長 500 μm ）の室温における発光スペクトルの注入電流依存性を示す。しきい電流は 65 mA で、発振波長 1.02 μm の単一縦モード発振のスペクトルが観測された。高い共振器損失の構造にも関わらず室温で安定したレーザ発振が得られたのは、高い量子ドット密度（ $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ ） $\times 2$ 層による高利得の活性層によるものと考えられる。また、光通信波長帯を目指した発振波長の長波長化に向けては、InAs 量子ドットのサイズ（特に高さ）を増す方

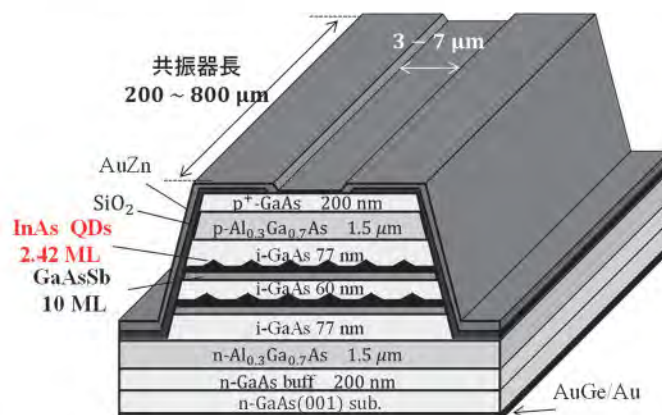


図10 面内超高密度InAs量子ドット層を内蔵したリッジストライプ型半導体レーザの構造図

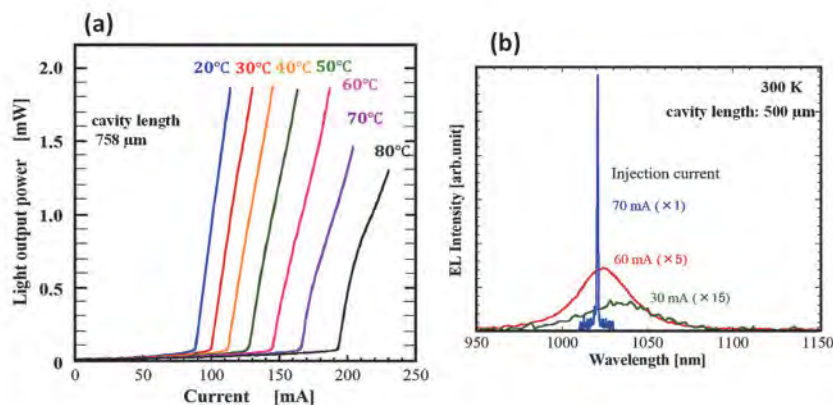


図11 面内超高密度InAs量子ドットレーザの電流・光出力特性の温度依存性 (a) と発光スペクトルと注入電流の関係 (b)

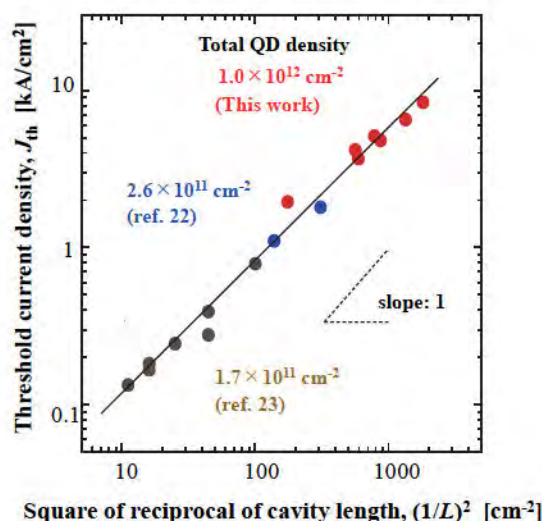


図12 面内超高密度InAs量子ドットレーザ (this work) のしきい電流密度と共振器長の関係 (参考論文 (ref. 22, 23) の特性との比較)

法もあるが、InAs 量子ドットに掛かる圧縮歪を緩和させるために InGaAs または GaAsSb の歪緩和層を導入する方法も有効である。

図 12 には、面内超高密度 InAs 量子ドットレーザのしきい電流密度 (J_{th}) と共振器長 (L) の逆数の 2 乗との関係を示す。比較のためにすでに報告されている 2 つの良質な InAs/GaAs 系量子ドットレーザの特性も一緒に示した^{22,23)}。比較用の量子ドットレーザは、面内低密度の量子ドット層を多重積層した構造であるが、本研究の量子ドット総密度に比べて 1/4~1/6 程度低く、共振器長を長くして共振器損失を抑えた構造である。図 12 の両対数グラフ上では、面内超高密度量子ドットレーザと参考論文の量子ドットレーザの全てのデータは同一線上にプロットされ、 $(1/L)^2$ に比例することが分った。しきい電流密度はしきい利得の 2 乗に比例することから、しきい利得の成分としては共振器損失が支配的であり、内部損失は十分に小さいことを意味する。したがって、面内超高密度量子ドットレーザの内部損失は、参考論文の良質な量子ドットレーザと同様に小さい値であり、高い結晶品質であることが示された。また、面内超高密度量子ドットレーザにおいてレーザ発振に寄与した量子ドット数は全体の 1/4~1/6 程度である

ことも意味し、面内超高密度量子ドットの均一性を高めることにより、さらに高利得で低い値の量子ドットレーザの実現が期待される¹⁸⁾。

7. おわりに

筆者らのグループが開発してきた Sb 導入法による面内超高密度 InAs 量子ドットのエピタキシャル成長技術について紹介した。特に、InAsSb/GaAs 層上の InAs 量子ドット成長では世界最高の面内密度 $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ を実現した。この面内超高密度量子ドットでは、隣接量子ドットの均一幅が広がることで電子的な強結合状態を形成しやすくなることに着目し、PL スペクトルの温度依存性の解析により面内での強結合を初めて実証した。この面内超高密度 InAs 量子ドット層における光伝導特性を調べ、従来の低密度 InAs 量子ドット層に比べて約 10 倍も高い光伝導度が得られ、面内強結合によるミニバンド伝導およびトンネル伝導の効果によることを示した。また、面内超高密度 InAs 量子ドット層を楕型電極間距離の大きな ($500 \mu\text{m}$) GaAs 太陽電池へ導入することにより、10 倍集光においても高い FF 値を維持した集光特性の改善効果が得られ、従来の GaAs 太陽電池よりも 20 % も高い出力電力を

得ることができた。この効果も面内超高密度量子ドットの強結合による面内伝導効果によって説明した。さらに、面内超高密度量子ドット層を2層導入した量子ドットレーザを試作し、短い共振器長で高反射膜の無い構造においても80℃の高温で安定した連続発振を確認した。量子ドットの不均一性の問題は残されているが、量子ドットの超高密度化による高利得を実現し、内部損失の低い良質な量子ドット層であることを示した。今後も量子ドットのエピタキシャル成長技術のさらなる進展により、量子未来社会に貢献すべく様々な量子ドットデバイスの実用化が展開されることを期待する。

謝辞

本研究に関しては宮下直也准教授、海津利行准教授に有益な助言や討論をいただきました。本稿で紹介した研究成果は、研究室に在籍した多くの大学院生と共に取り組んできた成果の積み上げによるものです。また、本研究成果の一部は、NEDO（高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発革新的新構造太陽電池の研究開発）の支援およびJSPS 科研費（課題22491069）の助成・支援を受けたものです。以上の関係各位に謝意を表します。

参考文献

1. Y. Arakawa and H. Sakaki, Appl. Phys. Lett. 40, 939 (1982) .
2. M. Asada, Y. Miyamoto, and Y. Suematsu, IEEE J. Quantum Electron. 22, 1915 (1986) .
3. M. Ishida, N. Hattori, T. Akiyama, K. Otsubo, Y. Nakata, H. Ebe, M. Sugawara, and Y. Arakawa, Appl. Phys. Lett. 85, 4145 (2004) .
4. A. Luque and, A. Marti, Phys. Rev. Lett. 78, 5014 (1997) .
5. R. Strandberg and T. W. Reenaas, Prog. Photovoltaics 19, 21 (2011) .
6. K. Sakamoto, Y. Kondo, K. Uchida, and K.

- Yamaguchi, J. Appl. Phys. 112, 124545 (2012) .
7. A. Luque, P. G. Linares, E. Antolín, I. Ramiro, C. D. Farmer, E. Hernández, L. Tobías, C. R. Stanley, and A. Martí, J. App. Phys. 111, 044502 (2012) .
8. Y. Okada, R. Oshima, and A. Takata, J. Appl. Phys. 106, 024306 (2009) .
9. K. Yamaguchi, K. Yujobo, T. Kaizu, Jpn. J. Appl. Phys. 39, 1245 (2000) .
10. K. Yamaguchi and T. Kanto, J. Cryst. Growth 275, e2269 (2005) .
11. E. Saputra, J. Ohta, N. Kakuda, and K. Yamaguchi, Appl. Phys. Express 5, 125502 (2012) .
12. K. Sameshima, T. Sano, and K. Yamaguchi, Appl. Phys. Express 9, 075501 (2016) .
13. S. Oikawa, A. Makaino, T. Sogabe, and K. Yamaguchi, Phys. Status Solidi. B255, 1700307 (2017) .
14. N. Kakuda and K. Yamaguchi, Jpn. J. Appl. Phys. 57, 045601 (2018) .
15. S. Tatsugi, N. Miyashita, T. Sogabe, and K. Yamaguchi, Jpn. J. Appl. Phys. 61, 102009 (2022) .
16. S. J. Oon, T. Ohyama, N. Miyashita, and K. Yamaguchi, Jpn. J. Appl. Phys. 63, 085501 (2024) .
17. R. Suzuki, K. Terada, K. Sakamoto, T. Sogabe, and K. Yamaguchi, J. Appl. Phys. 58, 071004 (2019) .
18. M. Tanaka, K. Banba, T. Sogabe, and K. Yamaguchi, Appl. Phys. Express 14, 124002 (2021) .
19. K. Yamaguchi, *Molecular Beam Epitaxy* (chapter 4) , Wiley (2019) .
20. M. Ohta, T. Kanto, and K. Yamaguchi, Jpn. J. Appl. Phys. 45, 3427 (2006) .
21. M. Bayer, P. Hawrylak, K. Hinzer, S. Fafard, M. Korkusinski, Z. R. Wasilewski,

0. Stern, and A. Forchel, Science 291, 451 (2001) .
22. Z. R. Lv, Z. K. Zhang, X. G. Yang, and T. Yang, Appl. Phys. Lett. 113, 011105 (2018) .
23. H. Shimizu, S. Saravanan, J. Yoshida, S. Ibe, and N. Yokouchi, Appl. Phys. Lett. 88, 241117 (2006) .

日本鉱業協会分析部会 2024 年現地研究会 見学記 ーJAXA 能代ロケット実験場・小坂製錬所・DOWA テクノリサーチ小坂センターー

三菱マテリアル株式会社 原田 哲雄

日本鉱業協会分析部会は 2024 年 11 月に秋田県での現地研究会を開催しました。参加者は総勢 15 名で、11 月 14 日に JAXA 能代ロケット実験場、11 月 15 日に小坂製鉄株式会社小坂製錬所と DOWA テクノリサーチ株式会社小坂センターを訪問しました。

晩秋を迎えた秋田県は紅葉が徐々に見ごろを過ぎつつありました。しかし、道中の車窓からは葉を落とし始めた森の間に赤や黄色に色づく木々を楽しむことができ、集合場所に向かう我々の目を和ませてくれました。新幹線と特急を乗り継ぎ昼過ぎに東能代駅に到着し、そこから手配頂いたバスで出発しました。これから冬に向かう東北地方の日本海側は風が非常に強い日が多いと聞きますが、今回は好天に恵まれ、穏やかな天候の中での見学会となりました。

能代ロケット実験場は、秋田県能代市南部の日本海に面した南北に細長い敷地に位置する JAXA の附属研究機関の一つです。最大で 1 km の保安距離を確保できることから、日本の宇宙推進エンジンの研究開発にとって重要な役割を果たしています。本実験場は内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられる観測ロケットや科学衛星、探査機打ち上げ用 M（ミュー）ロケットの研究開発に必要な固体ロケットモーターの燃焼実験を目的として 1962 年に開設されました。1975 年からは液体酸素・液体水素ロケットエンジンの基礎実験を行うための施設を増設、さらに大型ロケット M-V 開発計画の開始に伴い、1990 年から関連施設の拡充・更新が進められており、現在敷地内には、大気燃焼試験棟・真空燃焼試験棟・極低温推進剤試験棟の大型施設があります。た

だ、真空燃焼試験棟は 2023 年 7 月に起きた爆発事故の影響で現在は更地となっており、早ければ 2025 年に再建を予定しているとの説明がありました。また、ここでは宇宙科学研究所が推進している大学共同利用研究の場としても活用されており、2009 年からは京都大学と JAXA による液体水素の熱流動特性試験を開始するなど、実験参画による学生教育の場としても利用されています。

見学の中で最近実施した実験の紹介がありました。まず一つ目に完全再使用型宇宙輸送システムの開発の状況について説明がありました。これは、輸送機を完全再使用化したうえで迅速な繰り返し運用を実現することを目的としており、1999 年 3 月にロケットエンジンによる垂直離着陸飛行に日本で初めて成功しています。以来、逐次新しい技術を導入しながら実際のシステム運用を想定して繰り返し実験を実施しており、本年度までに燃焼実験が終了、2025 年度に飛行試験が計画されています。



図 1 能代ロケット実験場での集合写真

次に、エアターボロケットの燃焼試験について紹介があり、これは液体水素を燃料とするエンジンで、圧縮空気と混合し二次燃焼を実現させるための実証評価を行っているとのことでした。

さらに、カーボンニュートラル社会の実現を目指し、これまで培ってきた液体水素燃料の供給技術・安全管理技術を適用して水素エネルギーの輸送手段を含めたサプライチェーン構築に必要な研究開発・各種実証実験を実施しているとの説明がありました。

これからも企業・大学などとの連携を通じて、宇宙航空産業の裾野を広げるとともに社会的・産業的価値の創出によって安全で豊かな社会の実現への貢献が期待されています。

翌日は小坂製錬（株）の小坂製錬所及び DOWA テクノリサーチ（株）小坂センターを訪問しました。同社が拠点を構える秋田県北部の小坂地区は、前日宿泊した大館市からはバスで 40 分ほどの山間に位置しています。

小坂製錬（株）は 1989 年に設立されましたが、製錬所としての歴史は 1884 年まで遡ります。当時官営施設であった小坂鉱山及び製錬所を藤田組（後の同和鉱業、現・DOWA ホールディングス）が政府から払い下げを受け創業、地元で採掘した黒鉱と呼ばれる鉱石の製錬を行ってきました。黒鉱は海底火山の活動により噴出した熱水が海水との相互作用によって結晶化した重金属硫化物を起源とするもので、長い年月の間に堆積して金属硫化物の塊となりました。この鉱石は、一般的な銅鉱石と異なりさまざまな有価金属を豊富に含んでいますが、分離・回収する技術がないと活かすことはできないことから、小坂製錬所は技術開発を続け、1975 年に煙灰処理工場を完成させることで黒鉱中の有価金属の完全回収を実現しております。黒鉱は 1990 年までで採掘を終了しましたが、黒鉱によって培われた技術基盤により、他の製錬所が敬遠する複雑鉱やリサイクル原料を受け入れることが可能となり、さらに 2008 年に多様なリサイクル原料に対応した新しい炉（TSL 炉）の稼働が開始しました。ま

た、小坂製錬所を核とする小坂地区、家電リサイクルを行う大館地区、亜鉛製錬所のある秋田地区が連携し多種類のリサイクル原料を受け入れ、地域から出すことなく有価金属を回収し、無害化処理と最終処分を地域内で完結するリサイクル・コンビナートを形成することで世界一の複合リサイクル製錬所への歩みを進めています。同社の精製分離技術及びリサイクル・コンビナート機能により回収可能な有価金属は、金・銀・銅・鉛・錫・亜鉛・白金・ロジウム・パラジウム・インジウムなどおよそ 20 種類に及ぶとのことでした。

会社概要のご説明の後、小坂地区をバスで回り、リサイクル原料ヤード・誓いの碑・TSL 炉・製品倉庫を見学しました。製錬所としては社員・協力会社合わせて約 400 名、小坂地区全体で約 700 名の従業員が働いており、近年では人材の獲得が課題となっており、特に人口 4000 人の小坂町でいかにして地元採用をしていくかが重要とのこと。

リサイクル原料ヤードについて、原料としては基板などで、処理能力としては一日 20 lot、月 2000 t。汚染を防ぐことが非常に大事で、ロット間の清掃に時間をかけていると伺いました。

誓いの碑は、過去の煙害による環境汚染を教訓に緑化再生を誓い、2006 年 9 月に建立されました。同社は緑化推進活動を行い、循環型社会の構築を目指しているとのことでした。



図 2 説明を聞く参加者

TSL 炉は、これまでの自溶炉という形式に代わり、リサイクル原料への対応力をさらに高めることが可能になりました。電解工程を含めた全体の工程数が大幅に短縮できたため、原料投入から製品化までのスピードが向上しました。水分の制御について、亜鉛製錬所残渣は予め 10 % 程度まで乾燥させてから投入しており、排水スラッジについては投入のタイミングにより水分が多いもの、乾いているものがあり、バランスを調整していると伺いました。

製品倉庫では有価金属のインゴットが整然と積み上げられておりました。一番奥では見学者用に金と銀のインゴットを持つことができる体験スペースがあり、参加者は、厳重な警備の中で金のインゴットを持ち上げ、その重さをかみしめていました。

最後の見学先である DOWA テクノリサーチ(株)

小坂センターへ向かいました。同センターの建屋は 2 階建てで、1 階は乾式分析、2 階は湿式分析室と機器分析室に分かれており、2 階全体は見学者であっても保護メガネ着用を必須とするなど安全対策に力を入れていると感じました。同センターでは約 90 名の方が働いているとのこと、小坂製錬所と同様、人員確保に大変苦慮していると伺いました。乾式分析法においてはモールド下部の形状を工夫して鉛ボタン成形の効率化を行うなど、作業の改善に積極的な印象を受けました。

2 日間にわたり、JAXA 能代ロケット実験場・小坂製錬所・DOWA テクノリサーチ(株)小坂センターを見学させて頂きました。各施設を案内して頂いた皆様にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

非鉄大手 7 社-日本鉱業協会合同イベント「非鉄 DE&I フォーラム 2025」開催報告

日本鉱業協会 総務部

非鉄金属企業 7 社（※）と日本鉱業協会は 2 月 27 日、各社・協会における DE&I（多様性、公平性、包摂性）を促進する「非鉄 DE&I フォーラム 2025」を住友金属鉱山株式会社において開催しました。「国際女性デー（International women's Day）」である 3 月 8 日に向けた取り組みで、2024 年 3 月に続き業界として 2 回目の開催です。

フォーラムの開会に先立ち、日本鉱業協会の関口明会長（DOWA ホールディングス株式会社代表取締役社長）から「非鉄金属業界は鉱山採掘を祖業としており、労働内容や安全性の観点から法令で坑内労働を男性に限るなど、伝統的に男性主体の職場となっていた。一方で、この特性を認識しながらも、非鉄金属業界は諦めることなく変革し続けている。男性主体だった各社においても、現在では多くの女性が働いている。非鉄金属業界でも多様な人材が活躍していることに脚光が当たり、そうした変化の中で、より自分らしく活躍していただくことも、このフォーラムの意義である」とのメッセージが述べられました。

また、閉会にあたっては住友金属鉱山株式会社の松本伸弘代表取締役社長からご挨拶があり、「私自身、男女問わず職場の最前線で活躍できることが、組織のパフォーマンスを向上させ、企業の持続的な成長につながることを、フィリピンでの駐在経験などを通じて実感してきた。現在、世界の一部では DE&I 揺り戻しの動きがあるが、企業の競争力向上や人材確保の観点から、DE&I の重要性は今後も変わらないと確信している。参加された皆さんが自分事として DE&I に取り組み、非鉄金属業界全体の発展に寄与していただけることを期待している」と、業界をあげた取り組みの重要性が強調されました。

当日は、まず株式会社チェンジウェーブグループ代表取締役社長 CEO 佐々木裕子様より基調講演「非鉄金属業界における DE&I 推進」があり、専門家から見た非鉄金属業界の取り組みや、DE&I を推進し多様な人材が活躍できる会社、業界とすることが変化の激しい時代においては、ビジネスチャンス獲得の可能性を高めるといったお話がありました。

次いで、DE&I の取り組みを経験、実践している従業員同士のトークセッションを会場で行い、DE&I 推進に関する意見交換が行われました。

なお、会場の様子は参加各社にオンライン配信され、会場・オンライン合わせて約 450 人の従業員が参加しました。

<当日の様子>



日本鉱業協会 関口会長 挨拶



住友金属鉱山 松本社長 挨拶



従業員トークセッション

(※) JX 金属株式会社、住友金属鉱山株式会社、DOWA ホールディングス株式会社、
日鉄鉱業株式会社、古河機械金属株式会社、三井金属鉱業株式会社、
三菱マテリアル株式会社

日本鉱業協会の動き（1 月）

日	総務部・企画調査部 鉛亜鉛需要開発センター	技術部・環境保安部
6 日	・三銅業合同年賀交歓会	
7 日	・電線関連団体賀詞交歓会 ・自動車 5 団体新春賀詞交歓会	・ UNEP 分科会 ・ 日本鉄鋼連盟 新年賀詞交換会
8 日	・ 日本鉱業協会 新年賀詞交歓会 ・ 石灰石鉱業協会 新年賀詞交歓会 ・ エネルギー資源開発連盟 新年賀詞交歓会	
9 日	・ 資金専門委員会 ・ 「鉱山」編集委員会 ・ 日本規格協会 新年賀詞交歓会 ・ 天然ガス鉱業会 新年賀詞交歓会	
10 日	・ 日本溶融亜鉛鍍金協会賀詞交歓会	
14 日	・ 税制・会計合同専門委員会 ・ 硫酸協会新年賀詞交歓会	
15 日	・ 新金属協会賀詞交歓会および表彰式	・ 拡大安全衛生委員会 ・ 環境省 第 3 回ヤード環境対策検討会
16 日	・ 日本鉱業協会賞 表彰審査委員会 ・ 一金会	・ 土建委員会
17 日	・ 理事会（オンライン） ・ 八社総務部長会（オンライン） ・ 日本鉱業振興会 第 2 回鉱業助成委員会	
20 日	・ 日本租税研究協会「令和 7 年度税制改正説明会」（オンライン） ・ セメント協会 新年賀詞交歓会 ・ 日本ダイカスト協会 新年賀詞交歓会	
21 日	・ 経団連 幹事会	
22 日	・ 経理部会 ・ 日本地熱協会 賀詞交歓会	
23 日	・ 定例記者会見	・ 令和 6 年水銀法検討会（オンライン）
24 日	・ 銅報告会・銅友会合同会議（オンライン） ・ 海洋資源・産業ラウンドテーブル特別研究会（オンライン） ・ 経団連 木曜会	・ 新材料部会および講演会 ・ 休廃止鉱山 第 4 回人材育成 WG
27 日		・ JOGMEC 地熱事業成果等報告会（オンライン）
28 日	・ 労働部会 ・ 二八会 ・ ダイカスト用亜鉛合金委員会 A グループ	・ JCI スラグ骨材委員会 コンクリート工学会
29 日	・ 鉛亜鉛需要開発センター運営委員会	
31 日	・ 地金統計部会（オンライン）	・ 分析部会 ・ JIS 分科会 ・ ISO/TC183 国内委員会 ・ 資源環境コンソーシアム（仙台市）

日本鉱業協会の動き（2月）

日	総務部・企画調査部 鉛亜鉛需要開発センター	技術部・環境保安部
3日	・2025年度会費算定基準検討委員会 ・経済産業統計協会 月例会および新年懇親会	・環境管理幹事会 ・令和6年度第2回水銀大気排出抑制対策調査検討会
5日	・経団連 常任幹事会	・保安部会
6日	・一木会 ・月例懇談会 ・東北大学国際卓越研究大学シンポジウム ・資金専門委員会	
7日	・GX推進委員会	
12日	・税制・会計合同専門委員会 ・ダイカスト用亜鉛合金委員会	
13日	・二木会	・グリーンレメディエーション研究会北海道WG
14日	・監査部長の会 ・一金会	・機械委員会 ・循環・3Rリレーセミナー～資源循環を巡る国内外の最新情勢について～（オンライン）
18日	・経団連 幹事会 ・経団連 地方・業種団体情報連絡会（オンライン）	・製錬部会 ・地熱委員会 ・分析部会
19日	・特許委員会 ・廿日会	・再資源化部会 現地研修会（～20日 神戸・大阪） ・日本地熱協会 情報連絡会（オンライン） ・環境省・経産省 Hg含有再生資源会議 ・全国火薬類保安協会 理事会（オンライン）
20日	・亜鉛めっき普及専門委員会 ・経団連 木曜会	・UNEP 分科会 ・休廃止鉱山専門委員会および勉強会 ・産廃懇話会
21日	・理事会 ・八社総務部長会 ・日本鉱業振興会 理事会 ・鉛遮音・遮蔽板委員会	・資源部会 ・スラグ委員会 ・LCA日本フォーラム「削減実績量」WG
25日	・銅報告会・銅友会合同会議（オンライン）	・JOGMEC 第2回坑废水处理高度化事業委員会
26日	・二八会 ・鉛亜鉛需要開発センター運営委員会 ・亜鉛めっき普及運営会議	・産業廃棄物処理業OB会 成果発表会
27日	・国際女性デーイベント（住友金属鉱山） ・日中長期貿易協議委員会第85回常任理事会	・休廃止鉱山資格認定協会 理事会 ・第4回環境省ヤード環境対策検討会（オンライン） ・資源環境センター運営委員会
28日	・鉱業法規委員会 現地研修会（三池） ・地金統計部会（オンライン）	・省エネ部会・電気委員会 現地見学会（～3/1 三重）

〔1 月出来事〕

【国内関係事項：一般】

〔10 日〕 中国電力島根原子力発電所 2 号機は、2024 年 12 月におよそ 13 年ぶりに再稼働し、原子力規制委員会から使用前確認証の交付を受け営業運転に移行した。

〔24 日〕 日銀は金融政策決定会合で、政策金利を 0.5%程度引き上げる追加利上げを決定した。追加の利上げは 2024 年 7 月の会合以来で、政策金利は 2008 年 10 月以来 17 年ぶりの水準となった。

【国内関係事項：業界】

〔7 日〕 住友金属鉱山は、フィリピンのニッケル製錬子会社であるコーラルベイニッケルの発行済み株式の 84.375%を保有しているが、同社の発行済み株式 15.625%を Nickel Asia Corporation より取得すると発表した。本取引の完了後、同子会社は住友金属鉱山の 100%子会社となる予定。

〔7 日〕 三井金属鉱業は、コーティングをはじめとした機能性液体の事業化推進体制強化のため、2025 年 4 月 1 日付で機能材料事業本部に「機能性液体事業化推進部」を発足する。

〔7 日〕 三井金属鉱業は、高周波基板用銅箔「VSPTM」の生産体制について、台湾工場での能力増強とマレーシア工場での生産開始により、従来比 40%増の 580t/月へ増強を行う。

〔7 日〕 三井金属鉱業は、キャリア付極薄銅箔「MicroThin™」について、2025 年以降上尾事業所及びマレーシア工場の生産能力を順次増強し、2027 年度までに 30 万㎡、2030 年までにさらに 40 万㎡増強し月産 560 万㎡とする計画であると発表した。

〔14 日〕 三井金属鉱業は、透明導電膜用のパーティクル及びエッチング残渣削減に貢献するスパッタリングターゲット材料、「WL-TCO™」の量産及び販売を開始した。

〔14 日〕 JX 金属は、「Cu again (シーユーアゲイン)」プロジェクトの一環として、原料の 100%リサイクル化を実現した高機能伸銅品の販売を開始すると発表した。第一段として、チタン銅合金及びコルソン合金の条や箔の提案を開始する。

〔17 日〕 三井金属鉱業は、合併により、完全子会社である日本イットリウムの権利義務全部を承継し、同社は 2025 年 4 月 1 日に解散することにしたと発表

した。

〔17 日〕 三菱マテリアルは、パナソニックくらしアプライアンスと、廃家電から発生する廃プリント基板から回収した金・銀・銅を、再びパナソニックグループを主体に活用するスキームを共同で構築・運用しており、同スキームを通じて資源循環で活用された都市鉱山資源が、累計で金 1.1t、銀 33t、銅 8,100t になったと発表した。

〔17 日〕 DOWA ホールディングスは、子会社の DOWA エコシステムが、熊本県宇城市の熊本工場敷地に、エコシステムリサイクリング熊本工場の新設を決定したと発表した。なお、同工場の着工に先立ち、2025 年 1 月 16 日に熊本県による立ち会いの下で宇城市と企業立地協定を締結した。

〔21 日〕 三井金属鉱業は、連結子会社である三谷伸銅について、保有する全株式を、関係当局の承認が得られることを条件として CK サンエツに譲渡することを決定したと発表した。

〔22 日〕 三井金属鉱業は、連結子会社である三井研削砥石について Kinik Company に、MITSUI GRINDING TECHNOLOGY (Thailand) について Kinik 及びその子会社である KINIK THAI に、それぞれ保有する全株式を譲渡することを決定したと発表した。

〔27 日〕 住友金属鉱山は、取締役会において、2025 年 4 月 1 日を合併効力発生日とし、当社の完全子会社であるサイコックスを吸収合併することを決議したと発表した。当社と株式会社サイコックスの組織一体化による SiC 貼り合せ基板事業の迅速な立ち上げや事業強化、管理業務の一層の効率化を図ることを目的として、本合併を実施する。

〔28 日〕 三菱マテリアルは、「電気銅のカーボンフットプリント算定・第三者クリティカルレビューの実施と家電リサイクル LCA」と題した活動について、「第 21 回 LCA 日本フォーラム会長賞」を受賞した。

〔29 日〕 JX 金属は、「銅のサステナビリティ向上を目的とした、需要家と共創するリサイクル促進スキームの提案と LCA 手法の活用」と題した活動について、「第 21 回 LCA 日本フォーラム会長賞」を受賞した。

【海外関係事項：一般】

〔6 日〕 中国やロシア、ブラジルなどの新興国で

構成する BRICS は、インドネシアが正式に加盟したことを発表した。

【16 日】 2023 年 10 月以降、ガザ地区で戦闘を続けてきたイスラエルとイスラム組織ハマスは 1 月 19 日から 6 週間、停戦することで合意した。

【20 日】 米国ワシントンの連邦議会議事堂で米大統領就任式が行われ、トランプ氏が第 47 代大統領に就任した。

【29 日】 米連邦準備制度理事会（FRB）は 28～29 日に開催した米連邦公開市場委員会（FOMC）において、政策金利を据え置くことを決定したと発表した。政策金利の据え置きは 2024 年 7 月以来、4 会合ぶり。

【海外関係事項：業界】

【2 日】 中国商務省は、バッテリー正極材料の製造技術やリチウムとガリウムの加工技術に関する輸出規制案を発表した。

【14 日】 米通信社ブルームバーグの 1 月 14 日付け報道によると、三菱商事は 2024 年 12 月に発表した傘下の三菱商事 RtM チャイナにおける従業員の銅不正取引を受けて、中国国内の金属取引から撤退する。

【15 日】 チリ銅委員会（コチルコ）は、チリ国内の銅生産量は 2024 年の推定生産量 543 万 t から、2027 年には過去最高の 607 万 t に増加するものの、その後は徐々に減少し、2034 年は 554 万 t になる見通しを発表した。

【16 日】 南アフリカ当局は、同国中北部スティルフォンテンの違法金鉱山で警察が数か月間にわたる包囲を行い、少なくとも 78 人が死亡したことを発表した。

【17 日】 英通信社ロイターの 1 月 17 日付け報道によると、リオ・ティント（英豪）とグレンコア（スイス）は 2024 年末に経営統合に関する協議を行ったものの、進展はなかった。関係者によると、協議期間は短かったとしている。

【20 日】 ロンドン金属取引所（LME）は、LME 香港倉庫を新たに認定することを発表した。

【23 日】 フリーポート・マクモラン（米）は、火災により操業を停止した PT フリーポート・インドネシア（PTFI）のマニヤール銅製錬所について、2025 年半ばまでに操業を再開し、その後 2025 年末までにフル操業を予定していることを発表した。

【23 日】 ヴァーレ（ブラジル）子会社のヴァーレ・ベース・メタルズ（VBM、加）は、加マニトバ州のト

ンブソン・ニッケル事業について、売却の可能性を含む戦略的見直しを開始したことを発表した。

【24 日】 天斉リチウム（Tianqi Lithium、中国）と豪鉱山会社 IGO は、両社 JV の天斉リチウム・エナジー・オーストラリア（TLEA）が西オーストラリア州で操業するクウィナナ・リチウム精製施設のフェーズ 2 建設プロジェクトを中止することを発表した。

【25 日】 英新聞社フィナンシャル・タイムズの報道によると、BHP（豪）はアングロ・アメリカン（英）に対する買収提案を当面実施しないことを決定した。

【27 日】 ニューモント・コーポレーション（米）は、加オンタリオ州のポーキュパイン金鉱山を銀鉱山会社ディスカバリー・シルバー・コーポレーション（加）に売却することを発表した。

【31 日】 ロンドン貴金属市場協会（LBMA）が発表するロンドン金現物価格の終値が 2,812.05 米ドル/トロイオンスを付け、史上最高値を更新した。

【2 月出来事】

【国内関係事項：一般】

【18 日】 政府は、日本の電力政策の骨格となる「第 7 次エネルギー基本計画」を閣議で決定した。太陽光や風力などの再生可能エネルギーを将来の最大の電源とする一方で、原子力も最大限活用していくことが盛り込まれた。

【18 日】 政府は最新の NDC（Nationally Determined Contribution）を国連気候変動枠組条約事務局に提出した。温室効果ガス（GHG）を 2013 年度比で 2035 年度に 60%、2040 年度に 73%削減する。NDC を盛り込んだ「地球温暖化対策計画」と GHG 削減に向けた取り組みを定める「政府実行計画」も閣議決定した。

【国内関係事項：業界】

【5 日】 古河機械金属は、子会社の古河産機システムズが、施工中の足羽川ダム本体建設工事において、急傾斜におけるダム堤体打設用コンクリートの運搬設備として、密閉式吊下げ型コンベヤ「SICON®（ジーコン）」を納入し、運転を開始したと発表した。

【7 日】 三菱マテリアルは、国際的な環境情報開示推進 NGO である CDP より気候変動に対する取り組みなどが評価され、「気候変動」の分野において初めて最高評価の「A リスト」企業に選定されたと発表した。

【14 日】 JX 金属は、東京証券取引所より、同社株式の東京証券取引所プライム市場への新規上場が承

認されたと発表した。上場日は2025年3月19日を予定しており、同日以降は、同取引所において同社株式の売買が可能となる。

【14日】 住友金属鉱山は、国際的な非営利団体CDPより、気候変動分野への取り組みと、情報開示の透明性が認められ、最高評価となる「A リスト」に選定されたと発表した。

【14日】 古河機械金属は、子会社の古河ユニックが、北信越地区の架装能力と修理・点検などのサービス体制を強化すべく、長野営業所・サービスセンターを同地区内で移転し、架装工場を新設し、営業を開始したと発表した。

【19日】 三井金属鉱業は、合併により子会社である日本イットリウム社の権利義務全部を承継して存続し、日本イットリウム社は解散することを公告した。

【19日】 三菱マテリアルは、環境省主催の第6回ESG ファイナンス・アワード・ジャパンの環境サステナブル企業部門において、テーマ別賞（サーキュラーエコノミー賞）を受賞したと発表した。

【19日】 大太平洋金属は、The Metals Company とその子会社のNauru Ocean Resources が2022年に太平洋上の公海の深海底で試験採掘した多金属ノジュールサンプルから、ロータリーキルン／電気アーク炉施設を使用し、世界で初めて商業規模の高品質のニッケル・銅・コバルト合金と珪酸マンガンを製造する試験に成功したと発表した。

【21日】 三井金属鉱業は、コーティングをはじめとした機能性液体事業化推進体制を強化する。その一環として、iconosTM及び防汚・防曇コーティング剤を活用したコーティング事業を開始したと発表した。

【25日】 住友金属鉱山は、環境省が主催する第6回「ESG ファイナンス・アワード・ジャパン」の環境サステナブル企業部門において、「環境サステナブル企業」に選定されたと発表した。

【海外関係事項：一般】

【1日】 トランプ米大統領は、カナダとメキシコからの輸入品に25%の関税、中国からの輸入品に10%の追加関税を課す大統領令に署名した。

【3日】 トランプ米大統領とメキシコのシェインバウム大統領は、米国が予定していたメキシコからの輸入関税を1か月延期することで合意したことを発表した。その後、トランプ大統領とカナダのトルドー首相も同日、同様の発表を行った。

【25日】 トランプ米大統領は、海外から輸入する

銅への追加関税を検討するための大統領令に署名した。

【海外関係事項：業界】

【4日】 中国商務省と税関総署は、国家安全保障上の利益保護を理由として、タングステン、テルル、モリブデン、ビスマス、インジウムの5鉱種について輸出規制を実施することを発表した。

【14日】 中国リチウム生産大手のガンフォン・リチウムは、アルゼンチン北部サルタ州で進めていたマリアナ・リチウムプロジェクトの第1フェーズの生産を開始したことを発表した。

【17日】 アングロ・アメリカン（英）は、同社のプラチナ事業を行うアングロ・アメリカン・プラチナム（アムプラッツ、南ア）を2025年6月に分離独立させることを発表した。

【18日】 アングロ・アメリカン（英）は、ニッケル事業を中国五鉱集団（China Minmetals Group）子会社のMMG（豪）に売却することを発表した。

【19日】 三井物産は、豪州Rhodes Ridge鉄鉱石事業の権益40%を取得することを公表した。本件取得に関する合計額は5,342百万米ドル（約8,000億円）となる見込みである。

【19日】 ロンドン貴金属市場協会（LBMA）が発表するロンドン金現物価格の終値が2,936.85米ドル/トロイオンスを付け、史上最高値を更新した。

【19日】 英通信社ロイターの2月19日付け報道によると、バリック・ゴールド（加）は、マリでの金事業をめぐる同国政府との対立の解決に向けて、新たな合意書に署名したことを発表した。

【20日】 アングロ・アメリカン（英）とコデルコ（チリ）は、チリ中部バルパライソ州で隣接して操業するロス・ブロンセス銅鉱山とアンディナ銅鉱山について、共同開発に向けた覚書（MOU）を締結したことを発表した。

【21日】 インドネシアのバプリル・エネルギー鉱物資源大臣は、PTフリーポート・インドネシア（PTFI）に対して、追加の輸出税を課した上で銅精鉱の輸出を許可することを発表した。

【22日】 コンゴ民主共和国（DR コンゴ）の戦略鉱物物質市場規制管理局（ARECOMS）は、供給過剰と価格下落に対処するため、コバルトの輸出を4か月間停止することを発表した。

【24日】 グレンコア（スイス）子会社のパサール（フィリピン）は、フィリピン中部レイテ島に保有する銅製錬所の操業を一時停止することを発表した。

関係法令情報（官報）

【政令】

- [1 月 16 日] 資源循環の促進のための再資源化事業等の高度化に関する法律の一部の施行期日を定める政令 (二)
- [1 月 16 日] 資源循環の促進のための再資源化事業等の高度化に関する法律第十条第一項の要件を定める政令 (三)
- [2 月 19 日] 労働安全衛生法施行令の一部を改正する政令 (三五)

【省令】

- [1 月 16 日] 廃棄物処分業者の判断の基準となるべき事項を定める省令 (環境一)
- [1 月 20 日] 再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法施行規則の一部を改正する省令 (経済産業二)
- [2 月 13 日] 特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令の一部を改正する省令 (経済産業・環境二)
- [2 月 17 日] 大気汚染防止法施行規則等の一部を改正する省令 (環境四)
- [2 月 19 日] 労働安全衛生規則の一部を改正する省令 (厚生労働一二)

【告示】

- [1 月 16 日] 資源循環の促進のための再資源化事業等の高度化に関する施策を総合的かつ計画的に推進するための基本的な方針 (環境二)
- [1 月 31 日] 有害廃棄物の国境を越える移動及びその処分の規制に関するバーゼル条約の附属書の改正に関する件 (外務五八)
- [2 月 14 日] 水質汚濁に係る環境基準についての一部を改正する件 (環境五)
- [2 月 18 日] 廃棄物の減量その他その適正な処理に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るための基本的な方針 (環境六)
- [2 月 19 日] 労働安全衛生法施行令第十八条第三号及び第十八条の二第三号の規定に基づき厚生労働大臣の定める基準の一部を改正する件 (厚生労働二四)
- [2 月 19 日] 労働安全衛生規則第五百七十七条の二第五項の規定に基づきがん原性がある物として厚生労働大臣が定めるものの一部を改正する告示 (厚生労働二五)
- [2 月 26 日] 残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約の附属書 A の改正に関する件 (外務八六)

以 上

(鉱物標本の展示 ご案内)

一般財団法人 日本鉱業振興会では、貴重な国内の代表的な金属鉱山の鉱物標本を、榮葉ビル 6 階展示コーナー（神田錦町）及び科学技術館 4 階“Metal Factory”に展示し、広く一般に鉱物についての知識の普及に努めています。

鉱物の知識・性状や歴史を知るうえで、非常に有益なものです。是非、御覧になり参考にして下さい。

問合せ：(一財) 日本鉱業振興会 E-mail kozan@kogyo-kyokai.gr.jp
Tel 03-5280-2341 Fax 03-5280-7128



鉱 山

第 78 巻第 2 号（通巻第 829 号）

発 行 令和 7 年 3 月 25 日
発行所 (一財) 日本鉱業振興会
〒101-0054

東京都千代田区神田錦町 3 丁目 17 番地 11
榮葉ビル 8 階

電話 03-5280-2341

FAX 03-5280-7128

発行人 鈴木 信行

編集人 大石 保

印刷所 日本印刷(株)