

第 68 回応用物理学会春季学術講演会聴講記録

JST CRDS ナノテクノロジー・材料ユニット 特任フェロー 佐藤勝昭

標記学術講演会は、3月16日～19日にオンラインで開催された。このうち3/16 [半導体] T13 の午前のセッション、3/17 [結晶工学] T16、3/18 [スピントロニクス] T12 の招待講演を中心に聴講した。以下では、筆者が興味を持った講演を紹介する。

3/16 [半導体] T13 「多元系化合物が牽引する太陽光利用拡大と応用物理」

仁木 栄 (NEDO TSC) カーボンニュートラルに向けて拡大する太陽光発電の役割

次世代太陽電池は高効率化のため「タンデム」構造が必須である。GaAs ベースの4接合タンデムでは40%台が出ているが、コスト低減が課題。ペロブスカイト系をトップセルとするものはかなり高効率であるが、長期信頼性とPb代替技術が課題、CIGS系は低価格大面積が可能であるがトップセルの波長域の拡大が課題である。2050年カーボンニュートラルには再エネコスト5-6円/kwh、低コスト蓄電池・水素製造、再エネ用電力ネットワーク整備が求められる。

峯元 高志 (立命館大) 太陽光発電の裾野拡大に向けた情報発信～YouTube 太陽電池大学～

峯元先生が初学者向きにYou Tubeで配信している動画講義「太陽電池大学」の各講座を簡単に紹介している。これまでの再生数6900回、650時間に達した。

山口 真史 (豊田工大) 高効率化のアプローチ：タンデム化とフォトンリサイクリング

高効率化のアプローチとしてタンデム化において、(1)反射の低減(反射防止コーティング、テキスチャー)、(2)光量最大化(拡散長不十分、改善の余地)、(3)光マネージメント(フォトニック結晶を使ったフォトンリサイクリング)が重要と紹介した。

3/17[結晶工学]T16 「【一般公開】先進モビリティとパワーエレクトロニクス技術の進化」

(ミライズ) モビリティ革新とパワエレ技術

モビリティトレンドはCASE (Connected, Autonomous, Shared & Service, Electric) である。この講演では特に急速に進む自動車の電動化に焦点を当て、エンジン自動車の消費するエネルギーの90%は、排気・冷却・吸気・摩擦などのロスで、動力になるのは10%である。電動化は、エネルギー利用効率改善、変速機不要、後進ギヤ不要、回生によるメカブレーキ負担小、静音、汚染なしなどの利点がある。

しかし、下表のような課題がある。



	モビリティの要求	パワエレ視点
Connected	待機時も常時通信接続	通信デバイスの低消費電力化
Autonomous	多数センサーで大量信号処理	電源ユニット大電力化と冷却
Shared & Service	稼働時間増：車室内消費電力増	動力の低消費電力、空調の低電力化
Electric	大電力化	電動化ユニット小型化、高効率、冗長性

パワー半導体の大電力化にとってWBG(wide band gap)がキーを握る。WBGのメリットはユニポーラデバイスであるため、高速スイッチング特性、高耐熱性で機電一体化に好都合。

Si系→SiC系→Ga系の流れ。SiCについては、結晶成長の改善による高品質化、大口径化進展、SiトレンチMOSFETで高電圧化。GaNはDC-DCコンバータの高効率化に有効であるが、課題はコストと信頼性である。

中道理 (日経 BP) 「テスラモデル3 分解・分析から見た新 EV の形」

テスラ S(2015 年)とテスラ 3(2020 年)を分解し比較した。モデル S は、部品の寄せ集め、NVIDIA のレファレンスボード使用。MCU にフラッシュ、デフロスター、障害検知、ディスプレイ、リアビューカメラがぶら下がっている。フラッシュの書き込み制限オーバーで動作不良→リコール

モデル 3 は年間 50 万台を売り上げ。伝導駆動ユニット高性能化、電源系集約電池パックと一体化。鋼板使用 (モデル S ではアルミ)、床面電池自体が構造体となっている。駆動パワエレは、モデル S では Si-IGBT であったが、SiC (STmicro 製)になっている。基板形状は米国地図 (遊び?)。5 つの基盤ですべてを実施、電源系は 3 つ (オートパイロット・ボディコントローラ・MCU) に集約。駆動回路 (電池のディストリ、高圧 DC-DC) を電池パックに一体化。今後は外販も視野。



宇都宮久修 (インターコネクション・テクノロジーズ) 「5G 時代の自動車エレクトロニクス」

電気自動車は歴史が古い。1881 年に遡るが、その後 1993 年のプリウスまで鳴りを潜めた。2008 年にテスラが登場。重要ポイントは半導体により進化している点で 6 千個から 1 万個の半導体搭載。ECU は 100 以上、革新の 80% は半導体。開発に 7 年。この間半導体は 3 世代変わっている。150 以上のアクチュエータを制御するためのコンピュータパワーが必要。アーキは 2030 年までに標準化して Connected に貢献。材料まで含めて課題あり (自動車用プロセッサ・メモリ集積: 雨・風・ほこり・振動に耐える)



コネクティビティと通信: 2030 年には自動車コストの 1/2 はエレクトロニクスになる。11000 以上の電子部品、80 以上の電子制御ユニット、100 以上のセンサーを持つようになる。

自動車用プロセッサの半導体ノードは現行 40nm/28nm/14nm から 15 年後には 10nm/7nm/5nm にダウンサイズ。100G のインサートネット: シリコンフォトニクスの可能性

自動運転: 2025 年にはレベル 4/5 となり、データ取得→知覚→認識→行動の高速演算処理が必要

3/18 T12 「スピンを利用した量子技術の最前線 - 量子デバイス開発から新材料探索まで -」

宇佐見 康二(東大) 「マグノンと超伝導量子ビットと光とダークマター」

YIG 結晶をキャビティ内に置き、YIG の強磁性共鳴の Kittel mode とキャビティモードとのカップリングに超伝導ジョセフソン素子を組み合わせ、非線形共振回路を構成する。これによって、マグノンの量子センシングが可能になる。また、ダークマターの候補として探索されているアクシオンの量子センシングを目指す。アクシオンの検出には 10^{-23} T の感度が必要だが、現状では 10^{-15} T なので、積算時間を稼いで感度を上げる必要がある。



大岩 顕(阪大) 「量子ドットを使った光子とスピンをつなぐ量子インターフェースの研究」

量子ドット中の電子スピンはスピン量子ビットとして、1 量子ゲートや 2 量子ゲート操作が実現されている。一方、量子通信ではコヒーレンス時間が長く長距離の量子情報伝送に適した光子が使われており、光とコヒーレントに結ぶ量子インターフェースができれば、スピン量子ビットの有用性は大きく広がる。大岩らは GaAs/AlGaAs 2 次元電子系を使って形成される量子ドットの近傍に量子ポイントコンタクトと呼ばれる 1 次元チャンネルを作製、単一電子以下の感度を持つ高



感度電荷計として使い、単一ドットで単一光子が生成した単一電子の検出に成功した。(これ以上フォローできず)

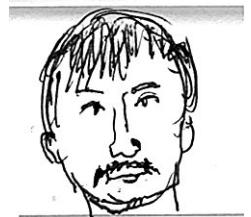
有田亮太郎(東大/理研) 「第1原理計算による磁性熱電材料の探索」

異常ネルンスト効果(磁気熱電効果)はゼーベック効果と異なり、温度差と垂直方向に発電し、大面積化やフレキシブル化が容易で、高効率で発電が行えるという利点を持つ。中辻らは、鉄にアルミやガリウムといった元素を添加した強磁性体 Fe₃X₂ で、鉄単体の場合より 20 倍大きな磁気熱電効果が得られることを発見した。反強磁性体でも Mn₃X₂ で異常ネルンストが発見された。有田らは、第1原理計算から、Berry 曲率を求め、Fe₃Al の巨大ネルンスト効果の起源を解明した。反強磁性体についてはクラスタ多極子のコンセプトで解析。磁気構造の予測に成功した。



林将光(東大/NIMS) 「スピン流材料開発の進展」

Berry 曲率は仮想磁場である。この概念でグラフェンや、トポロジカル絶縁体の量子ホール効果が説明できる。第一原理計算を用いて強磁性体における異常ホール効果とスピンホール効果をそれぞれ決定するベリー位相とスピンベリー位相を計算した結果、逆格子空間においてスピンベリー位相の対称性がベリー位相と結晶構造の対称性より低く、異常ホール伝導度とスピンホール伝導度の単純な比例関係が成立しないことがわかった。スピン軌道相互作用の大きな重金属に表面弾性波を伝搬させると、弾性波と直交する方向にスピン流が発生することがわかった。



佐藤 宇史(東北大) 「高分解能 ARPES によるトポロジカル超伝導材料の探索」

はじめに、トポロジカル絶縁体のギャップ内電子状態が角度分解光電子分光(ARPES)で観測できることを述べ、次に、2次元のトポロジカル超伝導体に見られる超伝導ギャップ内状態、1次元トポロジカル超伝導体の両端に現れるマヨナラフェルミオンに言及。トポロジカル絶縁体上に通常の超伝導体を積層したとき、トポロジカル絶縁体表面にあったディラック電子が超伝導体の表面に移動しておりトポロジカル超伝導になっていることを ARPES で確認した。



小寺哲夫(東工大) 「半導体量子ビットの研究動向と展望」

半導体量子ドットと核スピンとの相互作用を用いたスピン量子コンピューティングを研究している。Si では 95% が核スピンを持たないので長いコヒーレンス時間を持ち、研究が進んでいる。集積化には多くの課題がある。SOI 基板をエッチングして形成した物理形成量子ドットでのホールスピン操作の実装を目指している。正孔スピン系は核スピンとの超微細相互作用が小さく、長いコヒーレンス時間を持つとされている。△配列三重量子ドットは集積化に有利とされる。



阿部 英介(理研) 「ダイヤモンド NV 中心を用いた核スピン検出と制御」

ダイヤモンド NV 中心は、初期化が可能、単一スピン検出可という利点を持つ。室温から数百℃での瘦躯邸が可能、非破壊、低侵襲で様々な物理量の量子センシングが可能なので生体計測にナノダイヤモンドが使われる。また、単一分子の構造解析が可能である。

