

## 海外出張報告(オランダ)

CRDS フェロー 佐藤勝昭

EPS-CMD(欧州物理学会固体物理分科会)

会場:オランダ フロニンゲン市マルチーニ プラザ

初日(9/4 午後)

Opening Session

Petra Rudolf



Organizer

Opening Address



EPS 代表

Kees Van der Beek



Jean Marie Tarascon

9/4 午後、Organizer 代表の Petra Rudolf さんと EPS 代表の Vees Van der Beek 氏の Opening Address のあと、Plenary Lecture として、Jean Marie Tarascon 氏(College de France)が”Materials Advances for better Li (Na)-ion batteries: any interest to physicist?”という講演を行った。彼は元々超伝導の研究者であったが、25 年前にテーマを電池に替えたときに、物理学会を辞めたということで、Solid State Chemistry の立場から固体電解質を電子構造に基づいて論じていた。EPS は物理学会というより、応用物理学会的であると思った。

### Colloquium 07 “From Topological Materials to Topotronics”

筆者は「Colloquium07 トポロジカル物質からトポトロニクスへ」のセッションに9/4-9/5の2日間のみ参加した。このセッションでは、トポロジカル物質の理論および実験の基礎研究の報告があった。参加者は50名くらいの小規模なセッションであったが、欧州でのトポロジカル物質への取り組みの概略をつかむことができた。

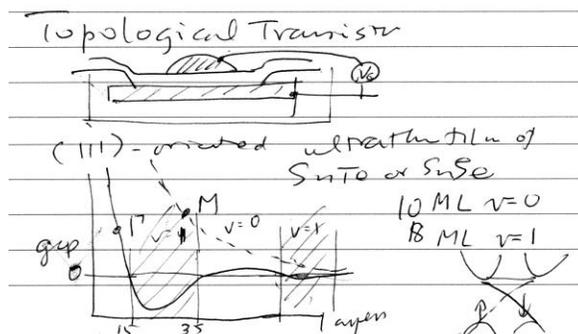
デバイスを作って測定している例は多かったが、基礎研究の実証のためであり、応用についての明確な言及はほとんどなかった。

#### 1. はじめにポーランドの Buczko 氏がセッションのイントロとし

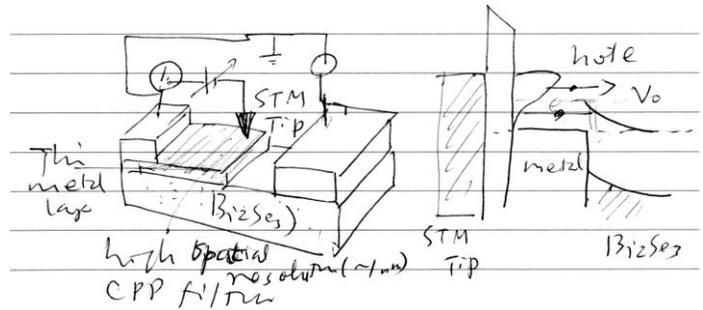
てトポロジカル絶縁体の電子構造のレビューからスタート、**topological crystalline insulator** について、(Pb,Sn)Se 系の ARPES のデータを組成と温度でマッピングし、ある温度領域で TI から TCI に移り変わる様子を見事に説明した。

ついで topological transistor 構造において、SnTe, SnSe の層数でチャーン数が 0,1 を振動し、ギャップが開いたり閉じ

たりする現象を報告し、歪みの効果として説明した。



2. フロニンゲン大の Banerjee さんは  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  の薄膜を MBE 法で作製し、磁性体を  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  にのせた非局所測定用デバイスを作り、非局所的に測った電圧に磁気ヒステリシスが現れる様子をたくさんのデータで示した。STM

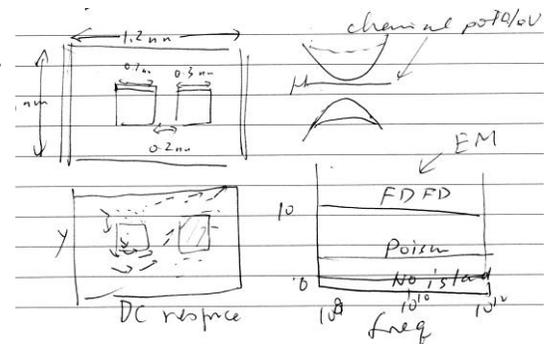


の針を使った Au(Pt)/  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  デバイスの話もあった。

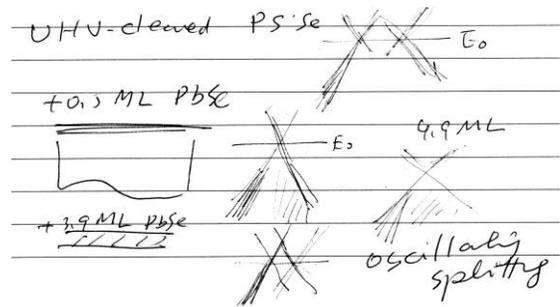
3. ワルシャワ大の Wolos さんは、ブリッジマン法で  $\text{Bi}(\text{Te},\text{Se})$  の単結晶を用いた EPR の実験を報告した。Ca 添加しないものは n 型、Ca 添加で p 型になるとのことであった。伝導電子、伝導ホール EPR スペクトルの角度依存性から、 $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  のバンド構造について、伝導帯、価電子帯の有効質量が等しく、スピンの性質も同じであると結論づけた。



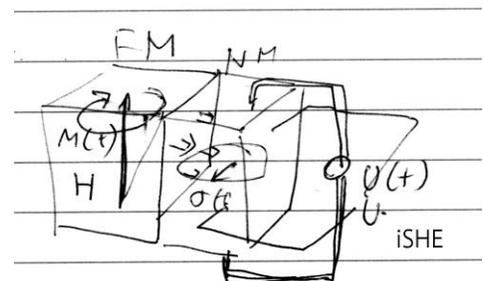
4. イリノイ大の Gilbert 氏は、TI という新しい物質群を古いデバイス構造を作って評価してもだめだとし、むしろ TI における磁性に着目し、インダクタとしてエネルギー蓄積を考えるべきと提案した。サブナノメートルサイズの微細磁性パターンを 2 個やはりサブナノメートル離して TI 上に置き、非常に高いエネルギー密度のインダクタになるというような話であった。



5. スウェーデンの Polley 氏は、TCI (topological crystalline insulator) で ARPES の実験を行い、UHV 劈開試料の上に PbSe を成長するとき、層数で ARPES パターンが分裂したりしなかったりを示し、量子閉じ込めされた電子の波動関数の  $\Psi(x)^2$  のきちんとした解析から干渉効果で説明できると話した。



6. 英国 Diamond Light Source の van der Laan 氏は、ネットワークアナライザとマイクロストリップラインを使った装置と放射光 X 線を組み合わせ、FM/TI/FM スピンバルブ構造を使って、TI へのスピンプンプを研究した。FMR から TI に注入されたスピン流が TI に吸収されることがわかったが、XFMR のダイナミックな測定からは、弱いスピンプンプしか起きていないことがわかったというような話をした。

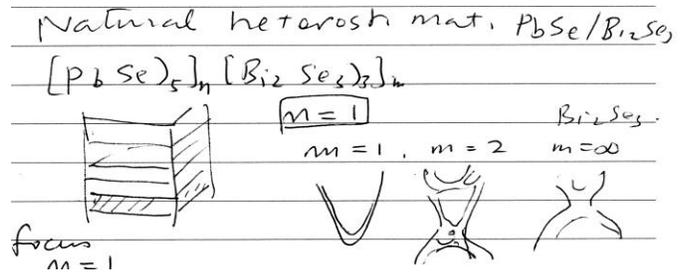


## 第2日(9/5 午前・午後)

1. 佐々木氏(英国 LEEDS 大)は、「Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/PbSe ヘテロ構造による超伝導」と題した招待講演をした。はじめに、SC-doped TI である Cu<sub>x</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>、SC-doped TCI である Sn<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>Te について述べた後、本題の Natural



heterostructured material PbSe/Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>における Cu の層間挿入による超伝導が unconventional で SC であると話した。彼は、阪大安藤研の助教だった方で、今回の CMD 参加の最大の収穫は、佐々木氏を通じて欧州の状況を把握できたことである。



2. Schaefer 氏(Juelich)は TI の電気輸送特性を Tailoring すると題して講演。

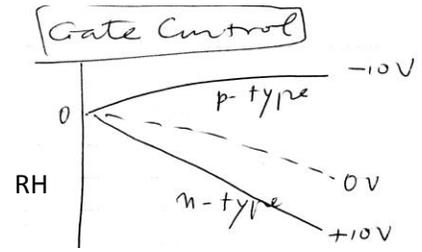


(1)MBE 成長した Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>、Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> の細線に微細加工でホール測定構造を作り weak antilocalization による field  $\sigma$  の zero-field anomaly を観測。

(2)(Bi,Sb)<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> においてゲート電圧 -10V で p 型, +10V で n 型という制御に成功。

(3)Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> ヘテロ構造ナノワイヤを Selected area growth で Hall 素子状に成長、antilocalization による  $\sigma$  の zero-field peak を観測。

これは Topotronics に繋がる研究だと感じた。

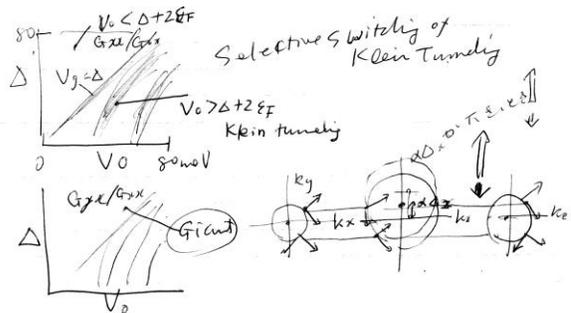


3. Matos-Abique 氏(State Univ. NY Buffalo)は Tunneling Planar Hall effect と題して講演。3D-TI 上に面内



磁化をもつ磁性体を堆積、面内に磁界を加えるトンネルプレーナーホール素子を作製。(電流は TI に流し TI の側壁間でホール電圧を測る)印加した磁界を面内で回転して Hall 電圧の角度依存性を測定。ゲート電圧による Klein tunneling のセレクトティブスイッチングの巨

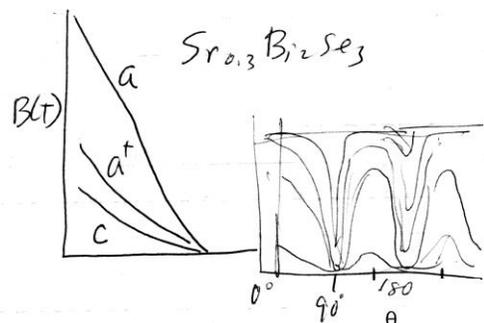
大効果を発見、リコンフィギュラブル・スピントロニクスに使えると述べた。



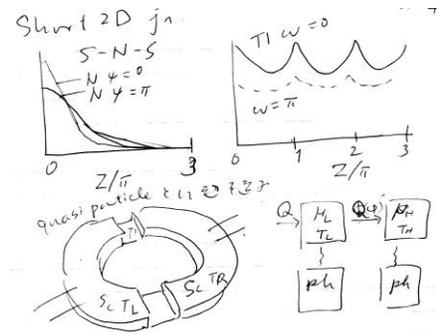
4. De Visser 氏(アムステルダム大)は、Sr をインターカレーションした Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> という topological



superconductor Sr<sub>x</sub>Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> において B<sub>c2</sub> (上部臨界磁界) の異方性から、B<sub>c2</sub> の値が WHM モデルを超えており、超伝導オーダーパラメータ奇パリティの成分が含まれるとし、ネマティック超伝導の可能性を示唆した。



5. Sothman 氏(Wuerzburg)は、SC/TI/SC 構造において、熱流が位相差に依存することを実験的に見だし、位相差が  $\pi$  のときに熱伝導が極小になる効果を **Topological Andreev bound state** によるとした。



6. Noqueira 氏(Dresden)は Witten 効果によって誘起されたジョセフソン電流と題して講演した。TI トンネル接合に垂直に磁界を印加したときに生じる AC-Josephson 効果は **Witten 効果** からもたらされる。この効果による Josephson 周波数は量子化される。Shapiro step には 2 つの整数が関わっており、第 2 のものがトポロジカルな起源をもつ。これらの結果は、**Duality** を示している。

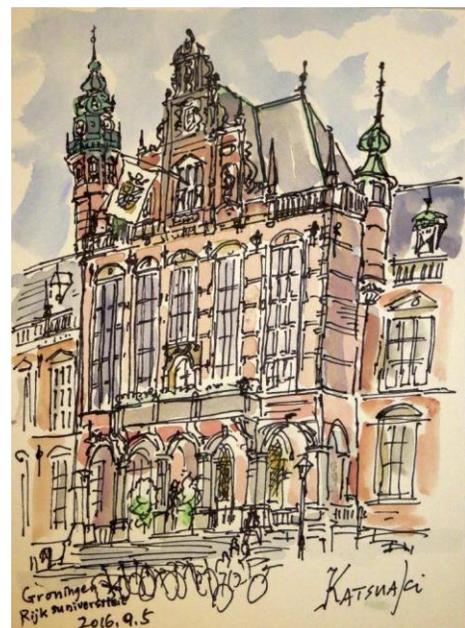
7. Klinovna さん(Basel 大)はトポロジカル量子状態のエンジニアリングと題して、非可換ブレージング統計に基づくトポロジカル量子計算について有限温度ではエラー補正が必要であるとし、ビヨンドマヨナラフェルミオンの候補としてパラフェルミオンの導入を提唱した。



TQC based on Non-Abelian Braiding Statistics  
 Energy gap  
 Degree: Insensitive to weak noise and perturbations  
 At  $T=0$ : TQC protected Time against all errors by gap  
 But  $T>0$  errors occur with prob  $N t \cdot e^{-\Delta/k_B T} \rightarrow O(1)$   
 need q. err. corr. for TQC



Groningen 駅



Groningen 大学