

B-1 Si(111)7x7 表面上の In 置換吸着構造の STM 観察

九州大学 総合理工学府^A 渡邊 宜義^A, Pavel Kocan^A, 栢原 浩^A

Si(111)7x7 上に In を 1/3 ML 室温で蒸着し、約 400 で熱処理すると、(3x3)R30° 構造 (3 と略記) が形成するが、その微視的な形成機構は明らかにされていない。本研究では、熱処理温度に対する構造の変化を STM により観察し、3 の形成過程を調べた。In を 0.1 ML 蒸着後、100 で 5 分間熱処理した表面の STM 像を図 1(a) に示す。7x7 の積層欠陥半単位格子 (F と略記) 内のみ In₆Si₃ クラスタが形成している (拡大図参照)。さらに 300 で 5 分間熱処理すると、テラス上では In₆Si₃ が分解し、In 置換吸着原子の明るい輝点が F のみならず正常積層半単位格子 (U と略記) にも観察された (図 1(b))。また、3 構造がステップ上端の三角形領域 (図

1(b)) に形成した (拡大図参照)。この三角形の外周は F で囲まれており、F の組み換えが 3 構造の形成において律速であると考えられる。

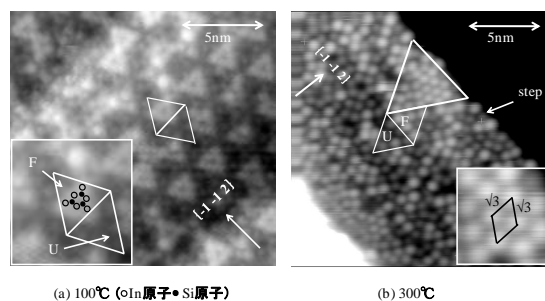


図1. 5分間アニール後のIn/Si(111)表面のSTM像

B-2 Cu(001) 表面上の Sn 吸着構造の LEED による構造解析

九州大学 総合理工学府^A 岡本 晃典^A, 吉田 学史^A, 水野 清義^A, 栃原 浩^A

単結晶金属表面に異種金属を吸着させることで、興味深い周期構造が形成されることがこれまでの研究で明らかになっている。本研究では、いまだ構造決定がなされていない Cu(001)-Sn-c(4×4) 構造について低速電子回折 (LEED) による構造解析を行った。

Cu(001)-Sn-c(4×4) 構造は、室温で Sn を約 0.6~0.65 ML 蒸着することで作製した。図 1 に c(4×4) 構造の LEED パターンを示す。STM 観察により考案された c(4×4) 構造モデルを図 2 に示す。構造解析では、この提案されている構造モデルのほかに、被覆率が 0.25~1 ML の間で類似した構造モデルについて構造解析を行った結果、最もよい信頼度因子 (R_p) を示したのは図 2 に示すモデルで、最適化したその R_p は 0.46 であった。

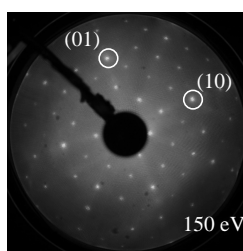


図1. Cu(001)-Sn-c(4×4) LEEDパターン

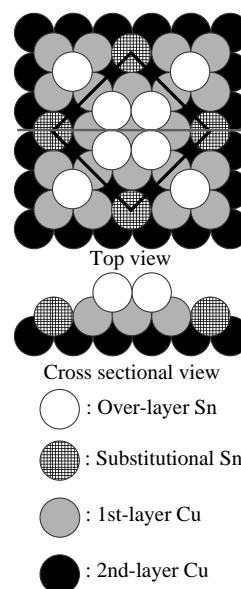


図2. Cu(001)-Sn-c(4×4) 構造モデル
J.Lallo al. : Surf. Sci. 602 (2008) 2348.

B-3 微傾斜 SiC 基板加熱により作製したグラフェン上のアルカリ金属吸着構造の LEED による研究

九大総理工^A 鈴木美由紀^A, 林賢二郎^A, 水野清義^A, 栃原浩^A

SiC 基板を真空中で加熱すると、表面に数層のグラフェンを作製することができる。グラフェンは炭素原子がハニカム構造を形成した安定性に優れた膜である。最近、グラフェンは Si 結晶より一桁以上高い電子輸送特性を示すという物性が明らかにされてきており、次世代電子デバイスへの応用が期待されている。本研究では、グラフェン上にアルカリ金属を吸着させ、低速電子回折 (LEED) を用いて構造解析を行うことを目的としている。

実験には微傾斜 6H-SiC(0001) 基板を用いた。まず、チャンパー内に SiC 基板を導入し、1400 及び 1900 で 30 分間の通電加熱による処理を行って基板上にグラフェン層を作製した。その表面に K 原子を蒸着させた。尚、蒸着は 5.0×10^{-10} Torr 以下の超高真空中で行った。蒸着及び LEED 観察は液体窒素を用いて、試料を 80K に冷却した状態で行った。

低温 (80K) で K 原子を蒸着すると (2×2) -K の LEED パターンが得られた。この試料を 100 以上に加熱すると K 原子は脱離して、グラファイトの (1×1) の LEED パターンに戻った。また、室温で K 原子の蒸着を行うと LEED パターンは (1×1) のままだった。これらのことから、K 原子はグラフェンとの層間化合物を作っている状態ではなく、グラフェンの上に吸着している状態であると考えられる。K 原子の吸着構造を明らかにするために、回折強度-電子エネルギー依存性 (I-V 曲線) の測定を行った。SiC 基板を 1400 に加熱した場合と、1900 に加熱した場合の I-V 曲線を比較した。(01) などの整数次スポットは加熱した温度により相違が見られ、このことからグラフェンの層数などが異なると予想される。これに対して、 $(1/2 \ 1/2)$ などの分数次スポットはよく似た I-V 曲線を示し、K 原子の吸着構造はどちらの加熱温度でも同じであると考えられる。

B-4 ZnO 薄膜/基板界面の超音波顕微鏡観察

九工大・工学府・先端機能^A 堅田翔^A, 孫勇^A

1. 目的

ZnO 薄膜は圧電デバイスとして広く応用されているが、薄膜と基板界面での音波特性には不明な点が多く、より詳細な研究が期待されている。本研究では超音波顕微鏡を用い、ZnO 薄膜/基板構造や基板だけの音速を測定し、音波伝播特性を調べた。

2. 実験方法

Ar スパッタリング法で ZnO 薄膜を Si とガラス基板上に作製した。基板温度を 133~250 の間に変化させ、30 分の成長時間で数 μ 厚さの薄膜が得られた。超音波顕微鏡 (SAM) を用い、室温で試料の音速を測定した。

3. 結果及び考察

薄膜分析から成長速度や結晶性などの特性が基板温度に依存することが判った。音速測定では、ZnO/Si 基板構造の音速は Si 結晶表面の音速よりも大きく、ZnO/ガラス基板構造の音速はガラス基板表面の音速よりも小さいことが判明した。実験結果より ZnO 薄膜/基板構造における音波伝搬速度は基板の特性に強く依存することとなった。

4. まとめ

超音波顕微鏡観察は、ZnO 薄膜/基板構造の音波伝搬特性の評価に有効であることが分かった。今後、ZnO 薄膜材料表面の音波特性も取り入れて ZnO/基板構造の音波伝搬特性を評価する必要がある。

B-5 金属 Be 表面抵抗の温度依存性測定

九工大・工学府・先端機能^A 窪田正之^A, 孫勇^A

金属 Be 表面抵抗の温度依存性測定

1. 研究背景および目的

現在、電子材料の極表面の抵抗率測定方法は確立されていない。一般的な抵抗率測定方法は、電極を試料につけて測定するため、電界が内部に侵入する。そのため、極表面の抵抗率測定は困難であった。マイクロ波および高周波を利用する非接触法もあるが、これらの手法も材料によっては深くまで侵入することがある。本研究では、高周波電界を利用して、極表面の抵抗率測定を試みた。

2. 実験方法

SAW デバイスを利用して、その表面から漏れた高周波電界を試料表面に走らせ、電界と試料中のキャリアの相互作用により、極表面の抵抗率を算出する。測定デバイスと試料を真空チャンバー中に設置し、温度を 20~300 (K) の範囲に変化させ表面抵抗の依存性を測定した。

3. 結果

図 1 に金属 Be 表面抵抗率の温度依存性を示す。昇温、および降温それぞれに似たような特性が得られた。しかしながら、230 (K) 付近に降温測定の時のみ抵抗率が減少するような特性が表れている。

4. 結論

この SAW デバイスの非接触法を用いて、金属 Be の表面抵抗率の測定をおこなった。その結果として表面抵抗率に対して温度依存性がみられた。そしてこの測定法は極表面抵抗率測定に有効であることが示された。

B-6 Si 単結晶 Sb ドナー準位の温度依存

九工大・工学府・先端機能^A 寺司英昭^A, 孫勇^A

1. 目的 Si 単結晶の Sb ドナー準位は温度に依存する。この原因を解明するために、SAW デバイスを用いて非接触的に測定を行った。

2. 原理・目的 SAW(Surface Acoustic Wave)とは固体表面付近にエネルギーを集中した形で伝播する音波である。電極に信号を入力すると、圧電体表面に沿って SAW が伝播する。伝播した SAW は試料を通過し受信の電極で電気的信号として検出される。SAW にはひずみ波と交流電界を含むが、実験では、ひずみ波と交流電界の成分を分離するために圧電体と試料の間に空隙をもたせる Air gap 法という手法をとっている。20~400K の温度範囲、50MHz の周波数で実験を行った。

3. 結果 Sb ドープ Si 単結晶の電気伝導率の温度依存性を図 1 に示す。縦軸は伝導率の相対値で、移動度の温度効果を除いた結果である。

4. 考察 電気伝導率の温度依存性にアレニウスプロットを適用すると図 1 に示した活性化エネ

ルギーが求まった。理論値が 32.9meV である T2 準位が 18.2meV と 24.2meV に分裂していることが分かった。Si の不純物を含む結晶構造は、正 4 面体の方向に伸びた結合によって連なっている安定なダイヤモンド構造をしている。しかし、温度の上昇につれ、格子に歪みが発生し T2 準位の分裂を引き起こしたと考えられる。

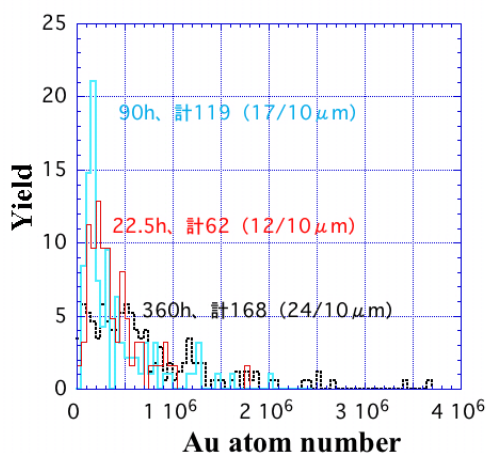
5. 結論 Si 単結晶 Sb ドナー準位は温度に対して不安定であり、T2 準位が分裂して現れる。

B-7 Si 中 Au の連続回復過程で発生する Au 集合体

福岡工業大学^A 安岩^A, 師岡正美^A

Si 中 Au の連続回復過程で Au 集合体が発生することはすでに報告した。今回主に、集合体中の Au 原子数と回復時間の関係、及び回復温度依存性について報告する。予め 1150 で 90 時間 Au 導入した FZ-Si 結晶 (初期金濃度) を、1150 30 分再熱処理後、900 領域に素早く移動し、900 22.5h、90h、360h の回復を行った。回復試料の Au 濃度分布を SIMS 測定した。過飽和 Au は回復熱処理によって外側拡散分布を示し、表面から約 12 μm より深い所では微小高濃度領域、即ち Au 集合体が発生した。発生する集合体数は回復時間と共に増加し、SIMS 測定領域の直径 30 μm 内で、10 μm の深さ当たりそれぞれの回復時間で 12 個、17 個、24 個であった。更に、Au 集合体中の Au 原子数を求め、その分布の回復時間依存性を図に示す。発生した Au 集合体は回復時間と共に肥大し、原子数が増加すると言える。更に、回復の初期においては多くの新しい集合体が発生していることがわかった。次に回復温度を変え

て、Au 集合体が発生するかどうかを調べた。950 の回復温度では、Au 集合体は殆ど発生しなかった。更に 930 で回復でも同様に Au 集合体が観測されなかった。即ち、Au 集合体が発生できる温度条件がかなり厳しい事が判明した。



Distribution of Au atom number in the agglomeration

B-8 シリコン結晶中における自己格子間原子のジャンプ相関

大分大学工学部^A 加藤之裕^A, 沖野隆久^A

シリコン結晶中には自己格子間原子と空孔が共存し、フレンケル欠陥が熱的に生成消滅されることが知られている。シリコン中の自己格子間原子には単純に格子間隙に存在する格子間シリコン原子と、フレンケル欠陥として空孔対として存在する格子間シリコン原子が存在しており、前者については幾何学的因子としての相関係数の理論値が報告されているが、後者についての理論値は研究されていない。本研究では、拡散現象の視点から格子間シリコン原子のジャンプについての相関係数を調べた。トレーサー自己拡散実験から得られた拡散係数および空孔や格子間原子についてそれぞれの熱平衡濃度と拡散係数との積の関係式はシリコン半導体の分野において信憑性のあるものとして受け入れられている。本研究では、これらの関係式を用いることで自己格子間原子の相関係数は0.15であることを導出した。この値はこれまで推測されていた値に比べ非常に小さいものである。つまり、シリコン結晶中の自己格子間原子の多くがフレンケル欠陥を構成する格子間シリコン原子であることを示している。

B-9 鉄シリサイド/アンチモン化亜鉛複合体の熱電特性

長崎大院生産^A, 長崎大工^B 川崎由^A, 羽坂雅之^B, 森村隆夫^A, 近藤慎一郎^B

緒言 FeSi₂ は高い Seebeck 係数を持ち、熱伝導率が低い。一方、Zn₄Sb₃ は高い電気伝導率と低い熱伝導率を持つ。本研究では (Fe_{0.97}Cr_{0.03}Si₂)_{1-x}(Zn₄Sb₃)_x 焼結体及び液体急冷リボンを作製して、FeSi₂ と Zn₄Sb₃ の分散が熱電的性質に及ぼす影響を明らかにする。実験方法 Fe、Si、Cr、Zn、Sb を (Fe_{0.97}Cr_{0.03}Si₂)_{1-x}(Zn₄Sb₃)_x (x=0~1) の組成に秤量後、高周波溶解を行った後、液体急冷法により、リボンを作製した。次に、Fe_{0.97}Cr_{0.03}Si₂ (x=0) のリボンを半導体化するため 1073K で 2h 熱処理を行い、乳鉢を用いて 45 μm 程度の粉末とし、同様に粉末とした Zn₄Sb₃ (x=1) と合わせて、(Fe_{0.97}Cr_{0.03}Si₂)_{1-x}(Zn₄Sb₃)_x (x=0~1) の組成で混合した。続いて、加圧成型機を用いて 300MPa でディスクを作製し、673K で 2h 熱処理した。こうして得られたリボン及びディスクに対して Seebeck 係数、電気伝導率、出力因子、無次元性能指数 ZT、熱伝導率の調査、X 線解析、TEM 観察を行った。実験結果 FeSi₂ と Zn₄Sb₃ の相が組成 x の変化に伴い異なった割合で共存した。熱電的性質は FeSi₂ と Zn₄Sb₃ の分散によって変化、向上した。ゼーベック係数、電気伝導率、熱伝導率、出力因子、性能指数は、リボン及びディスクに対してそれぞれ異なり、組成 x と共に増加したり、減少したりした。

B-10 ドーピング元素蒸着鉄シリサイドにおける熱電的性質

長崎大院生産^A, 長崎大工^B 毎原俊介^A, 羽坂雅之^B, 森村隆夫^A, 近藤慎一郎^B

【目的】鉄シリサイド -FeSi_2 は Al, Cr, Mn をドーピングすると p 型、Co, Ni をドーピングすると n 型半導体になる。このため、ドーピング元素の分布を制御することによって、バンド構造や電子・フォノンの輸送が適正化され、熱電性能の改善やモジュール化が期待される。本研究では、ドーピング元素の蒸着拡散により温度勾配に平行にドーピング元素を傾斜分布させ、ゼーベック係数、電気伝導度、熱伝導率に及ぼす傾斜効果について実験的に明らかにした。【実験方法】 $\text{FeSi}_{1.97}$ の組成比で秤量した純鉄とシリコンを Ar 雰囲気中で高周波溶解することによりインゴットを作製した。次に、インゴットを粉砕後再溶解し、片ロール・スピンキャスト法を用いて厚さ 25 μ 程度のリボンに加工した。続いて、ドーパント Co, Al, Ni あるいは Cr をリボン表面に種々の厚さで真空蒸着し、種々の温度、時間、拡散処理を施した後、ゼーベック係数、電気伝導率、無次元性能指数 ZT を測定し、TEM、SEM 観察を行った。【結果と考察】 $\text{FeSi}_{1.97}$ リボン表面にドーパント Co, Al, Ni あるいは Cr を真空蒸着させ、拡散処理を行うことによって n 型、p 型半導体に制御することができた。リボンのゼーベック係数、電気伝導度、熱伝導度はドーパントの蒸着量、拡散処理温度、時間によって異なった。ドーパントを傾斜的に分布させることによって、出力因子、性能指数が改善され、モジュール化に利用できることがわかった。

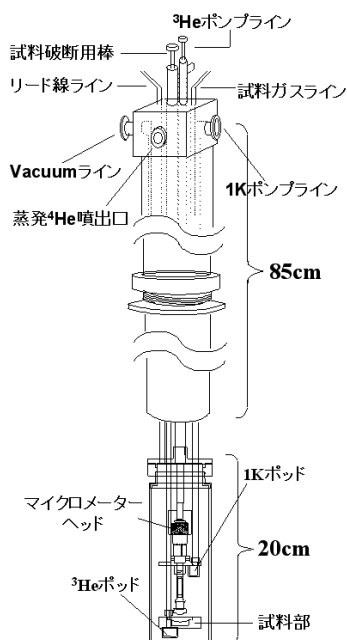
B-11 ブレークジャンクション法を用いた極低温下における金属細線の量子伝導測定装置の開発

九大工^A, 九大院工^B 豊増良太^A, 家永紘一郎^B, 稲垣祐次^B, 河江達也^B

我々は電極間に単分子を挟んだ系の電気伝導測定に興味を持っている。

これまで予備実験として、室温下大気中における金属細線の電気伝導を測定する装置を開発し、実験を行ってきた。だが、室温下大気中では試料が酸化してしまい、また熱振動により繊細な制御が困難であった。そこで我々は、試料の酸化や熱振動の影響を排除するために、極低温真空で測定できる実験装置を開発した。この装置は 1K ポッドと液体 ^3He 排気口がついており、0.5K 程度まで冷却できる。また液体 ^3He 排気に活性炭吸着を用いる事で振動を減らすことが出来る。

今回の発表では、装置の概要に加え、実際に液体ヘリウム温度まで運転させ測定した結果を報告する。



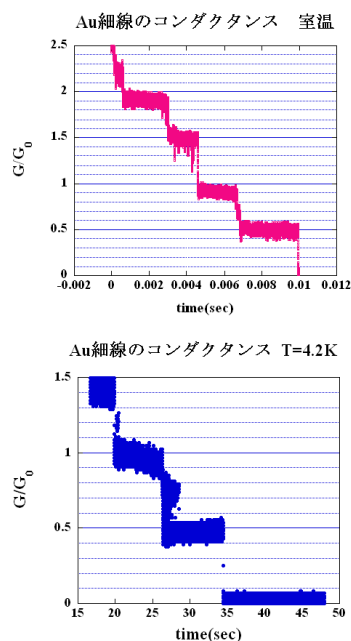
B-12 ブレークジャンクション法を用いた極低温下における金属細線の量子伝導測定

九大院工^A 家永紘一郎^A, 豊増良太^A, 稲垣祐次^A, 河江達也^A

我々は電極間に単分子を挟んだ系の電気伝導測定に興味を持っており、この系では極低温下真空中において近藤効果やクーロンブロッケードなどの多彩な物理が観測されている。

これまで我々は予備実験として、室温下大気中において金属細線の電気伝導を測定する装置を開発し実験を行ってきたが、試料の酸化や熱振動による細線の破断などの問題があった。そこで今回我々は理論上 0.5K 程度の低温を得ることが出来る、極低温下真空中測定のための実験装置を開発した。この装置では、熱振動の影響を排除することで以前より長い時間 1 原子錯状態を保つ事が可能になった。

今回の発表では、液体ヘリウム温度まで冷却し金属細線の電気伝導を測定した結果を報告する。



B-13 因果粘性を考慮した降着円盤モデル

熊本大・院・自然^A 白井貴幸^A, 荒井賢三^A

これまでの多くの先行研究 (Narayan et al. (1997), Kato et al. (1998), Lu et al. (1999) など) では無限の拡散速度を仮定している。しかしそれでは物理的に不都合が起きてしまう。

そこで、今回の研究では因果粘性を考慮して拡散速度を有限に抑え、降着円盤の遷音速解を求める。定常・軸対称の移流優勢降着円盤モデルにおいて、連続の式、運動方程式、エネルギー平衡の式を Runge-Kutta Gill 法を用いて動径方向に解く。まず音速点で初期値を与え、粘性点を通し、さらにその外側へと計算していき降着円盤の構造を求める。

また、比熱比や固有角運動量などのパラメータにより解がどのように変化するかを議論する。

References

- Narayan, Kato & Honma ,1997, ApJ,476,49
- Kato, Fukue & Mineshige ,1998, Black-Hole Accretion Disks
- Lu, Gu & Yuan ,1999, ApJ,523,340

B-14 NGC 4258 における歪んだ降着円盤について

熊本大・院・自然^A 伊藤仁史^A, 荒井賢三^A

NGC 4258 の中心核にある水メーザーの解析から、この降着円盤が歪んでいることがわかってい
る。そこで、この歪みの原因を調べる。

一般的に Lense-Thirring precession(回転している天体の近くでのジャイロスコープの歳差運動
するために一般相対論的補正)によって歪んでいると考えられている。歪んでいる範囲は Bardeen-
Petterson 効果 (Lense-Thirring 効果と降着円盤の内部粘性との複合作用がカー・ブラックホール
の角運動量と降着円盤の角運動量との間の配置を強制すること) によって与えられている。

他には、回転軸が異なる大、小の二つの降着円盤が合わさったことによる効果、降着円盤におい
て不規則に分布している恒星の相互作用による効果、中心核の近傍から放射される X 線の放射圧
による効果などが考えられている。

これらのモデルの優劣を議論する。

B-15 活動銀河核まわりのトーラス

熊本大・院・自然^A 江口 雅俊^A, 荒井 賢三^A

活動銀河は 1 型と 2 型の 2 種類に分類される。活動銀河の統一モデルから、2 型はトーラス状のダ
ストに覆われていることがわかった。

2 型を覆うトーラスを塊状のトーラスモデル (clumpy model) とし、トーラス内の雲の自己重力
により自由落下する時間と音の通過する時間が等しいことから活動銀河における雲の分布を、ト
ーラス内の雲同士の衝突によりできた準安定の雲の活動銀河への降着よりわかる放射輸送の計算を
行った。そこから得られた放射輸送の計算結果を実際にトーラスが観測された NGC1068 と比較し
てみた。

B-16 活動銀河核中心の降着円盤での分子形成

熊本大院自然^A 甲斐隆志^A, 荒井賢三^A

2型セイファートや LINER に区分される活動銀河核の多くで水分子によるメガメーザーが観測されている。そのような銀河の一つである NGC4258 では半径 $r = 0.14 - 0.28$ pc のガス円盤が見つかっており、メガメーザーはこの領域で観測されている。

我々はこのメガメーザーの起源となる水分子を降着円盤内の分子形成によるものと考え、NGC4258 を念頭に中心ブラックホール質量 $M = 3.9 \times 10^7 M_{\odot}$ 、質量降着率 $\dot{M} = 5.4 \times 10^{23} \text{ g s}^{-1}$ 、粘性パラメータ $\alpha = 0.1$ の標準降着円盤に水分子、水素分子による輝線冷却を加えたモデルでの分子形成を調べ、メガメーザーの観測とよく合う領域で多量の水分子が形成されることを明らかにしてきた。

このような分子輝線冷却が期待できる分子としてはこの他に CO が考えられるため、今回さらに CO による冷却効果を考慮し、円盤の構造と分子形成にどのような影響を及ぼすかを考察する。

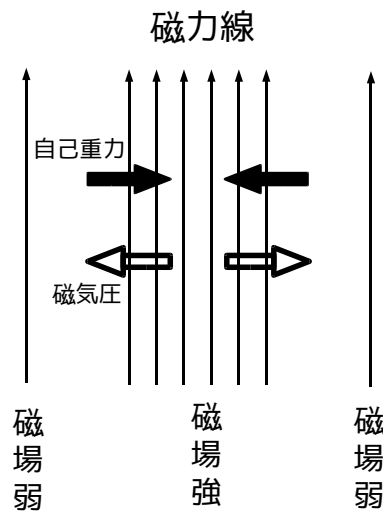
さらに、分子形成を考えている領域は温度がおおむね 500 K 以下であるので、そのような低温領域で適切となる不透明度について考察し、分子形成に与える影響も議論する。

B-17 磁場の自己重力による崩壊の線形解析

熊本大・院・自然^A 園田隼一^A, 小出眞路^A

ブラックホールは星の自己重力による崩壊によって形成されると考えられている。質量とエネルギーの等価性により電磁的なエネルギーも重力崩壊に寄与すると考えられる。一方で、磁場は重力崩壊を抑制するように働くと通常考えられている。しかし重力崩壊する星が非常に強い磁場を持つとき、その磁場の自己重力により崩壊が促進される可能性がある。だが、これまで磁場による重力はあまり考慮されてこなかった。

我々は今回、図のように一様な磁場が摂動を受けた場合を考える。時空がミンコフスキー時空よりわずかにずれたと仮定し、電磁場のエネルギー運動量テンソルに対するアインシュタイン方程式とエネルギー運動量保存の式を線形解析により解く。そこで磁場の自己重力と磁気圧がつり合う状態からの系の摂動を調べた。講演ではその線形解析の詳細と、さらに磁場のみによる重力崩壊の可能性について述べる。



B-18 自己重力を考慮した降着円盤モデル

熊本大・院・自然^A 馬場多聞^A, 荒井賢三^A

観測により NGC 4258 では, 水メーザー源が中心ブラックホールから $r = 0.14 - 0.28$ pc の距離にあることが知られている. そして, それらが Kepler 回転をしていることから, 中心には $3.9 \times 10^7 M_{\odot}$ の超大質量ブラックホールが存在し, 更に, 放射源は幾何学的に薄い領域に分布している.

中心ブラックホールの質量が $M \leq 10M_{\odot}$ の場合は自己重力を無視することができるが, $M \geq 10M_{\odot}$ の場合には自己重力も含めた降着円盤の構造を見直す必要がある.

先行研究によると, 中心天体の重力より自己重力が優勢な領域では, 標準円盤モデルに比べ, 角速度が増加することにより密度も増加し, 円盤の厚みも薄くなると同時に, 粘性加熱率も上がり, 円盤温度は上昇する.

本研究では, NGC 4258 を念頭において, 先行研究には含まれていない低温領域での不透明度も含めた円盤モデルを構築する. この結果について議論する.

B-19 宇宙におけるブラックホールの質量密度

熊本大・院・自然^A 中上祥吾^A, 荒井賢三^A

クエーサーはブラックホールへのガス降着によりパワーを得ていると考えて, 大質量ブラックホールの成長についてクエーサー光度関数を用いて調べる.

2dF Red shift Survey や Large Bright QSO Survey のデータを用いると, 絶対等級 M , 赤方偏移 z の関数としてクエーサー光度関数 $\Phi(M, z)$ は二重べき乗則

$$\Phi(M, z) = \Phi(M^*) / [10^{0.4\{(\alpha+1)[M-M^*(z)]\}} + 10^{0.4\{(\beta+1)[M-M^*(z)]\}}]$$

でよく表される. クエーサーが輝いているステージの間に降着するブラックホールの質量密度を $L = \epsilon \dot{M}_{acc} c^2$ ($\epsilon =$ 一定: 変換効率) により見積もり, 宇宙の平均密度を $\Omega_m = 0.3$, $\Omega_{\Lambda} = 0.7$ としたときの, その降着の歴史を追跡する.

さらに宇宙論のパラメータを変化させて, その質量密度や降着の歴史, 宇宙の質量密度への寄与がどのように変化をするのかを考察する.