

機関番号：24403

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008～2010

課題番号：2020054

研究課題名（和文） 新規・原子ビームによる表面科学及び細胞生理学への応用

研究課題名（英文） Surface Science and Cellular Physiology using atom beams

研究代表者 梅澤 憲司 (KENJI UMEZAWA)

大阪府立大学・総合教育研究機構 教授

研究者番号：80213487

研究成果の概要（和文）：(1) 電荷を持たない原子ビームをパルス化した低速原子散乱装置を開発した。空間分解能は0.1Å以下である。入射プローブは電気的に中性であるので絶縁体表面原子構造の解析に活用でき原子像イメージを取ることができた。(2)細胞生理学への応用では2 MeV-H⁺ビームを真空外へ直接取り出し、溶液中においたべん毛をもつ生体細胞へ照射し運動能へ及ぼす効果を調べた。その結果、 $\sim 10^{11}$ atoms/cm² の照射で細胞の働きに顕著な影響が出ていることがわかった。

研究成果の概要（英文）：This study describes a low-energy atom scattering system that was combined with a time-of-flight spectrometer for insulator surface structural analysis. Insulator surface structure is difficult to study because of the charging effects during electron or ion-beam bombardment. Our designed equipment has less than 0.1 Å spacing resolution. The effects of a high-energy proton beam applied to single *E. coli* cells in liquid culture medium were evaluated based on the activity of a flagellum motor and on cell growth. Average ion fluence needed to stop the flagellum motor of the tethered cells was 2.0×10^{12} protons/cm², which approximately corresponds to 60 kGy.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	8,300,000	2,490,000	10,790,000
2009年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
2010年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
総計	20,000,000	6,000,000	26,000,000

研究分野：工学、生物学

科研費の分科・細目：①応用物理学・工学基礎・薄膜表面界面物性、②基礎生物学、植物分子生物・生理学、植物分子機能

キーワード：原子散乱、表面構造解析、細胞生理学

1. 研究開始当初の背景

従来用いられてきた電子線、イオンビームは電荷蓄積効果のため電気を通しやすい物質しか研究対象とならなかった。その結果、研究対象として困難であった電気を通しにくい物質：絶

縁体、ワイドバンドギャップな物質(例えばダイヤモンド)、生体細胞等への適用が可能となり、0.1Å以下の空間分解能で原子レベルでの表面構造解析装置の開発、生体試料の改質、微細

加工も期待できた。提案した原子ビームの表面科学、細胞生理化学への応用は新しい原理、現象の発見、解明から新産業創出の可能性まで高く含んでいた。知の創造と活用において十分に世界に貢献できる研究課題であると考え。即ち飛躍的な知と創造を生み出すチャレンジある研究課題であった。21世紀の先端的マテリアルデザインの創製において人工微細構造を表面に構築することが求められている。とりわけ絶縁体表面は、未開拓領域であったので表面新構造、表面新物質については全く不明である。また、電場、磁場中に設置された物質の測定することも可能でありスピントロニクス分野の発展にも寄与できると考える。今後、世界レベルでの材料開発においては絶縁体表面、電場、磁場中の物質の振る舞いについて詳細な知見を得た国、機関が先導していく可能性は極めて高い。一方、ライフサイエンスの研究分野である細胞生理化学も原子、分子レベルでの研究がなされている。本申請課題では、原子ビームを大気へ取出す研究計画を立てている。原子ビームを大気へ取出し生体試料への照射を計画した。具体的には、核に損傷を与えることによって得られた変異形質の原因を、分子生物学的手法と組み合わせることによって検討することである。

2. 研究の目的

- ①表面科学分野においては、 0.1\AA 以下の空間分解能をもつ新しい原子散乱を作成する。ハード面、計測、解析ソフトについてブラックボックス無しの装置を開発する。
- ②細胞生理学においては、原子ビームを大気へ取出し生体試料への照射を計画した。具体的には、核に損傷を与えることによって得られた変異形質の原因を、分子生物学的手法と組み合わせることによって検討する。

3. 研究の方法

新しい中性化方法としてイオンビームと固体壁との相互作用を提案する。イオンは高い確率で電子を捕獲するため固体との1回散乱で98%~100%の範囲で中性化する。この物理現象を利用する。具体的にはイオンビームをゆるやかに曲げたガラスキャピラリー

(glass-capillary: 内壁 Au 膜)の中を通過させることを計画した。すなわち入射希イオンビームは $1-2^\circ$ ゆるやかに曲げられたガラスキャピラリーの内壁に衝突し前方散乱されたもののみが出口から出射させる方法であった。しかし、内壁の荒さが数 μm あり、一様にイオンビームが内壁において散乱させることができなかった。そこで、イオン源と同じ気体を用いて電荷交換反応で電氣的に中性なビームを生成することとした。一方、計測用ハードウェアである Time-to-digital converter (TDC)およびパルス発信器は、研究室で自作した物をもとに電子回路の専門技術者により見直しを図りノイズの除去を行った。これらの機器を制御するプログラムは Visual Basic により作成した。TDCの制御において無駄な時間遅れの部分があったので、プログラムを短くすることで遅れ時間をできる限り小さくした。

次に、細胞生理学への応用について述べる。大腸菌をガラス表面に一本のべん毛を介して結合し (tethered cell: テザードセル)、極細イオンビーム (径約 $10\mu\text{m}$) を照射することによって起こる効果をリアルタイムに観察・記録した。大腸菌の細胞分裂能、べん毛運動能、化学物質に対する応答能などに及ぼす放射線の効果を、一細胞観察によって調べることにした。実際には、原子ビームよりも、高エネルギープロトン (2MeV-H^+) 照射した。べん毛モーターに約 10 個以上のプロトンがヒットする照射量を与えると運動の能力が失われることを明らかにしている。

4. 研究成果

(1) 表面科学への応用について

電氣的に中性な粒子 (原子ビーム) を用いて絶縁体表面構造を原子レベルで観察できる飛行時間型低速原子散乱分光装置 (0.1\AA 分解能)の開発に成功した。これは世界的にもまだ実用化されていない装置である。電氣的に中性な原子ビームを入射プローブとして電荷蓄積効果を除外した点に独創性がある。本研究を行うにあたり長年において様々な問題を含んでいた。そこで電子回路の見直しを行い、実装において高周波アナログ回路とデジタル回路のすみわけに工夫がなされている。この部分は一般に電子回路図からは読み取れず、製作上多くのノウハウ、経験を必要とし高度な技術力が要求される。また計測ソフトも Windows 画面上で操作できるようにプログラムを作り直し新たな構築がなされた。一方、装置は超高真空が要求されるが差動排気を利用することで必要条件を満たしている。開発後は、Cu(111)試料で試験を行い、MgO(100)試料表面からのスペクトルを測定した。昨今、ゼロから装置開発・自作

を行う研究は少なくなっており実験物理として原点に戻った研究と言える。過去に報告が無い新しい装置開発がなされた。

図1は、keV-He⁺, He0 ビームをMgO(100)に照射したときに得られた飛行時間スペクトルを示す。収量が小さい飛行時間スペクトルが、He0 ビームの場合である。イオンビームから原子ビームへの変換は電荷交換反応を利用した。実験による中性化率は、約40%であり電荷交換断面積より求められる計算値とよい一致を得た。

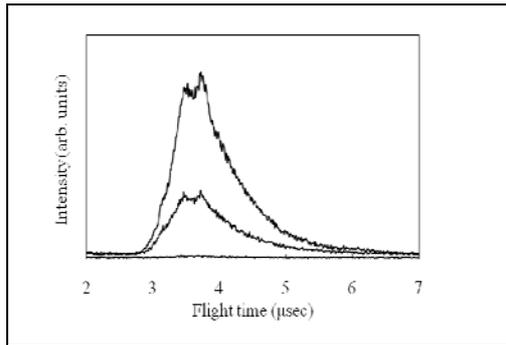


図1. 2keV-He⁺, He0 ビームをMgO(100)に照射したときに得られた飛行時間スペクトル

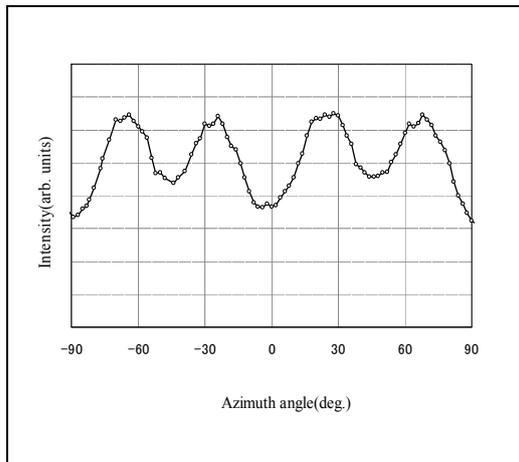


図2 MgO(100)試料の面内回転(Azimuth)における強度分布

図2にMgO(100)試料の面内回転(Azimuth)における強度分布を示す。(100)試料方位の結晶軸対称を示す通り強度分布は90度ごとに上下へ変化していることがわかる。次に、図3にMgO(100)試料を極軸回転(Polar scans)した場合の強度分布を示す。図3下段aは、入射粒子が上段0度方向から入射した場合を示す。bは、入射粒子が上段20度方向から入射した場合を示す。cは、入射粒子が上段40度方向から入射した場合を示す。dは、入射粒子が上段70度方向から入射した場合を示す。

す。各アルファベットに”-“がついたものは、上段の図で左側のピークに対応する。これらのピーク位置を解析した結果、表面第1原子層と第2原子層との間の距離は、1.9Åとなった。これはバルクにおける原子間距離2.1Åよりも約10%近く小さな値を示している。即ち表面第1原子は、バルクに対して緩和していることを示す。

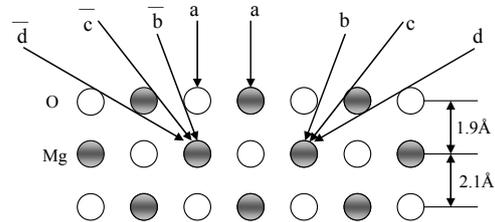
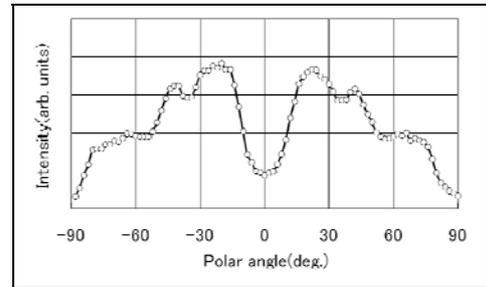


図3. MgO(100)試料を極軸回転(Polar scans)した場合の強度分布

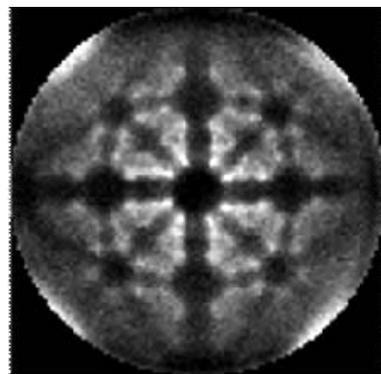


図4 MgO(100)試料表面の原子イメージ像

図4は、MgO(100)試料表面の原子イメージ像を示す。恐らく絶縁体試料表面原子のイメージ像として世界で最初のものとする。絶縁体は、電気を通さないものでこれまでに用いられてきた電子線、イオンビームを入射プローブとして利用することができないからである。試料表面の帯電による電荷蓄積効果による影響に基づく。尚、新低速原子散乱装置は、商品化へと進んでいる。

2. 細胞生理学への応用について

ここでは、大腸菌をガラス表面に一本のべん毛を介して結合し (tethered cell:テザードセル)、極細イオンビーム (径約 10 μ m) を照射することによって起こる効果をリアルタイムに観察・記録について述べる。大腸菌の細胞分裂能、べん毛運動能、化学物質に対する応答能などに及ぼす放射線の効果を、一細胞観察によって調べた。実際には、原子ビームよりも、高エネルギープロトン (2MeV-H⁺) 照射した。

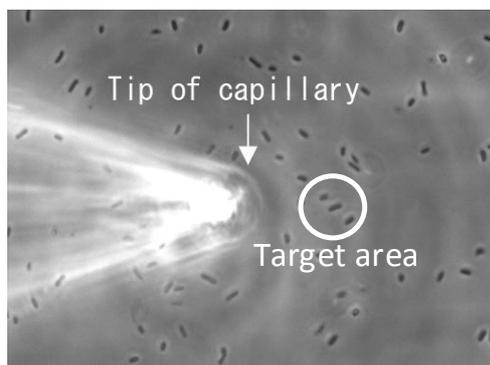


図 5 2MeV-H⁺ 入射ビームを大気へ取り出し大腸菌に照射した様子

図 5 は、2MeV-H⁺ 入射ビームを大気へ取り出し大腸菌に照射した様子を示す (実施場所: 理化学研究所)。大気へ取り出すにあたりガラスキャピラリーを用いた。ガラスキャピラリーの径は、約 10 μ m であった。実験の結果、60kGy 程度の照射で大腸菌のべん毛が停止することがわかった。また、この照射量は、大腸菌の細胞増殖能を完全に失わせるのに十分であったが、その原因となる DNA 損傷の程度を可視化することも進めている。

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 2 件)

(1) K. Umezawa, S. Nakanishi, H. Hayashi, H. Higashitsutumi, H. Nagasawa, K. Ogai, E. Narihiro, "Low Energy Ne Scattering Spectroscopy for Insulators, and Materials in the Electric/Magnetic Fields", **Materials Research Society**, 査読有、米国材料科学会、2011 年 5 月 20 日受理

(2) K. Umezawa, "The systems of TOF-low energy Ne scattering spectroscopy for insulator", e-J. Surf. Sci. Nano, vol. 8 (2010) pp. 194-196. 査読有、

[学会発表] (計 6 件)

(1) 発表者: 梅澤憲司

発表標題: MgO(111) 表面原子構造に関する研究

学会名: 第 58 回応用物理学会関係連合講演会

発表年月: 2011 年 3 月 24 日

発表場所: 神奈川工科大学

(2) 発表者: 加藤幹男、梅澤憲司

発表標題: "Real-time monitoring of Escherichia coli cells irradiated using a 2 MeV proton beams" 学会名: 第 7 回アジア生物物理学会

発表年月: 2011 年 1 月 30 日

発表場所: New Delhi, インド国

(3) 発表者: 梅澤憲司

発表標題: 低速 Ne 原子散乱装置の開発と応用

学会名: 真空・表面科学合同講演会、第 30 回表面科学学術講演会、第 51 回真空に関する連合講演会

発表年月: 2010 年 11 月 4 日

発表場所: 大阪大学

(4) 発表者: 梅澤憲司

発表標題: "Low Energy Ne Scattering Spectroscopy for Insulators, and Materials in the Electric/Magnetic Fields"

学会名: Materials Research Society

発表年月: 2010 年 11 月 30 日

発表場所: 米国、Boston, MA

(5) 発表者: 加藤幹男、梅澤憲司

発表標題: "Effect of proton beam irradiation through thin capillary on motility and cell growth of Escherichia coli"

学会名: The 3rd Workshop on Interaction of Ions with Insulators

発表年月: 2010 年 9 月 5 日

発表場所: 千葉県成田市

(6) 発表者: 梅澤憲司

発表標題: "A study of the interactions between low energy ion/neutral beams and MgO(001)"

学会名: The 3rd Workshop on Interaction of Ions with Insulators

発表年月: 2010 年 9 月 5 日

発表場所: 千葉県成田市

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: タイミングパルス発生装置

発明者: 梅澤憲司、中西繁光

権利者: 大阪府立大学

種類: 特許

番号: 特願 2009-265382

出願年月日：2009年11月20日
国内外の別：日本国内

○取得状況（計1件）

名称：タイミングパルス発生装置
発明者：梅澤憲司、中西繁光
権利者：大阪府立大学
種類：実用新案
番号：実用新案登録第3147975号
取得年月日：2009年1月7日
国内外の別：日本国

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.osakafu-u.ac.jp/las/~omezawa>

<http://www.b.s.osakafu-u.ac.jp/~mkato>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅澤 憲司 (UMEZAWA KENJI)

大阪府立大学・総合教育研究機構・理学系研究科 教授

研究者番号：80213487

(2) 研究分担者

宮本健助 (MIYAMOTO KENSUKE)

大阪府立大学・総合教育研究機構、理学系研究科・教授

研究者番号：10209942

加藤幹男 (KATO MIKIO)

大阪府立大学・理学系研究科・准教授

研究者番号：30204499

(3) 連携研究者 なし

()

研究者番号：