

気相移動度質量分析のためのイオン収束装置の開発

¹東邦大院理

○寺田夏樹¹, 菅井俊樹¹

Development of ion focusing system for ion mobility spectrometry mass spectrometry

○Natsuki Terada¹, Toshiki Sugai¹

¹ Department of Chemistry, Toho University, Japan

【Abstract】

Ion mobility spectrometry mass spectrometry (IMS/MS) has been used to clarify structures of molecules, nanomaterials, and bio-complexes. To achieve high-resolution IMS and high-sensitive MS measurement simultaneously, effective ion focusing system to connect high-pressure IMS and high-vacuum MS is required. We have been studying on this ion focusing system with newly developed dielectric barrier discharge (DBD), which works various pressure from 1 Torr to ambient pressure. Here we present ion focusing system with DBD showing high ion current up to 5 μ A and the strong effects of gas flow on ion transfer dynamics even at 1 Torr.

【序】 分子やナノ物質、そして生体高分子の高感度構造測定法として、気相移動度質量分析(IMS/MS)が近年大きく発展してきた[1]. この手法は構造解析が可能な IMS を分解能が高く、物質を同定できる MS と組み合わせるもので、従来にない情報が得られつつある. しかし、数 Torr から大気圧程度の高圧下ではたらく IMS と 10^{-5} Torr 以下の高真空下ではたらく MS を結合することは常に困難を伴ってきた. 従来は、IMS の使用圧力を 1 Torr 程度まで下げ、MS に接続しやすくすることで対処されてきた[2]. しかし、この手法では分解能の減少や減圧下での分子構造の変化などを伴うため、これらの問題が無い大気圧 IMS と MS の結合が求められてきたが、実現例は多くはない[3]. このような大気圧に近い高圧の IMS/MS 開発には、イオンの高度な収束と、ガス流の効果、および圧力依存性の見積もりが必要不可欠である. 今回我々は、特に連続イオン源およびイオン収束システムの開発を中心に、この問題の解決を試みた. これまでに特に MS 用イオン化源として、高速原子衝撃法[4]などに代表される高エネルギー粒子衝突型、マトリックス支援レーザー脱離イオン化法[5]に代表されるレーザーイオン化、これらよりよりソフトにイオン化出来るエレクトロスプレーイオン化法[6]に代表される高電場イオン化法がある. しかし、これらはパルス状イオン源であったり、動作圧力が大気圧もしくは真空に制限されたりするため、広い圧力範囲でイオン収束を評価することに適していない. 今回開発する高い動作圧力を持つ気相移動度質量分析(IMS/MS)の装置開発には広い圧力範囲で連続的なイオンを発生するイオン源が必要不可欠である. 本研究では誘電体バリア放電イオン源(DBD)[7]を新たに開発し、IMS/MS 装置内の幅広い圧力下でイオンの移動をイオン電流として調べ、イオン収束を試みた.

【方法 (実験・理論)】 Fig.1 に DBD イオン源の構造とイオン電流測定システムを示す. DBD は内径 4 mm 外径 6 mm のガラス管の内部と外部に銅箔電極を貼り、50 kHz , 2 kVpp 程度の高周波電圧を印加したものに He を流すことで連続的にイオンを発生す

る. 広い圧力範囲で数 μA 程度のイオン電流を発生した. このイオン源は, 広い圧力範囲で動作すると共に, ガス流によるイオン運搬効果も期待できる. DBD は+300 V の高電位に設置され, 発生したイオンは, 真空チャンバー内に設置した外径 56 mm 内径 30 mm の検出電極 A と外径 56 mm の検出電極 B にそれぞれ-200 V の電位を与えて接続した電流計によって検出した. 設置位置は, イオン源先端からそれぞれ 40 mm および 100 mm 下流である. 真空チャンバーはロータリーポンプで減圧され, 排気速度を制御することで 1~760 Torr に圧力を変化させた.

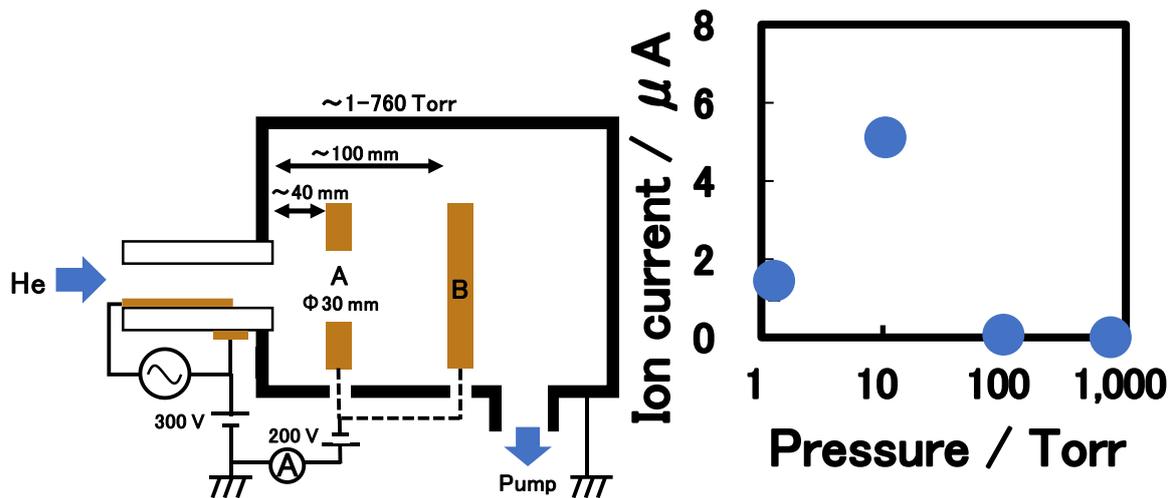


Fig 1. Apparatus

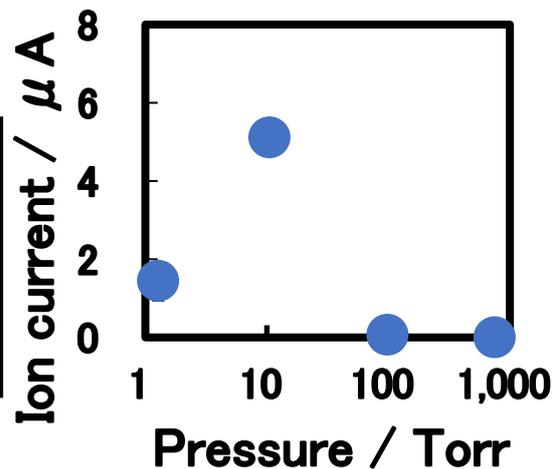


Fig 2. Ion current of Electrode B

【結果・考察】 電極 A ではあらゆる圧力範囲で電流は検出できなかった. これは DBD のガス流の影響が強く, イオン源に近く, そしてガス流の外側にある電極には 1 Torr という低い圧力で, 500 V もの電位差があったとしてもイオンが到達しないことを示している. 一方電極 B では Fig.2 に示すように, 10 Torr 以下の低い圧力下でイオン電流が検出され, 特に 10 Torr の時に約 $5\mu\text{A}$ のイオン電流を検出することができた. このことは電極 A とは異なり, ガス流の正面にあることでイオンが効率的に運搬・電極に衝突していることを示している. より高い圧力では検出されなかった. 大気圧でも DBD はイオンを発生していることを確認しているため, この結果は, 高圧下ではガスによってイオンが拡散され, 真空チャンバー内壁などに衝突して検出できないことを示している.

これらの結果より, 1 Torr 程度の圧力でもガス流の効果は非常に強く表れ, 電場の効果を凌駕する可能性があること, そして大気圧程度ではイオンの拡散の効果が極めて強く表れることがわかった. 講演では, より詳細なイオン運搬効果, そして大気圧 IMS/MS に向けた高度な収束機構について講演する.

【参考文献】

- [1] T. Sugai *et al.* *J. Mass. Spectrom. Soc. Jpn.* **58**, 47 (2010).
- [2] K. Giles *et al.* *Rapid Commun. Mass Spectrom.* **18**, 2401 (2004).
- [3] T. Sugai *et al.* *J. Am. Chem. Soc.* **123**, 6427 (2001).
- [4] M. Barber *et al.* *Nature* **293**, 270 (1981).
- [5] K. Tanaka *et al.* *Rapid Commun. Mass Spectrom.* **2**, 151 (1988).
- [6] John B. Fenn *et al.* *Sci. Rev.* **246**, 4926, pp.64-71 (1989).
- [7] M. Teshke *et al.* *IEEE. Trans. Plasma Sci.* **33**, 310 (2005).