



COFFEE BREAK

イオン工学雑感

高木 俊 宜

京都大学工学部電子工学教室，兼イオン工学実験施設 〒606 京都市左京区吉田本町
(1981年5月21日受理)

My Impressions of Ion Engineering

Toshinori Takagi

Department of Electronics, Kyoto University, Kyoto 606, Japan
(Received May 21, 1981)

私事で恐縮ですが、小生元来マイクロ波電力管たとえばクライストロンやマグネトロンなど真空管工学で苦勞し、不良になる原因としてイオンのいたずらに悩まされ続けた、いわくガス電流過大、イオンの衝撃による陰極破壊、イオン衝撃による電極溶解等々、イオンというのは球屋（半導体の石屋に対する真空管屋）にとっては不倶載天の仇であった。それがイオン工学とか、イオンビーム工学とかいってイオンにとりつかれ、イオンのお陰でめしを食わしてもら身になろうとは、当時知るよしもなく今やイオンには足をむけて寝られないのが昨今である。決めてとなったのは「邪魔ものは殺せ」ではなく「邪魔ものをあるいは欠点を何かに使えないか」という姿勢で絶えずものをみてきたことであろう。

イオン工学あるいはイオンビーム工学という分野を一貫して取りあげ、イオンを基礎とした技術体系の確立の重要性にとりつかれて「イオンビーム工学に期待するもの」(昭和47年)とか「イオン工学表面処理技術」(昭和48年)といった拙文を雑誌に投稿して以来はや10年を経過した。幸いにしてイオン工学的手法、即ちイオンを基礎とした技術に多くの関心が寄せられる時代となり、時の流れに助けられて昭和53年4月には京都大学にイオン工学実験施設が設置され、昭和55年には法政大学にイオンビーム工学研究所ができるなど賑かである。なぜイオン工学的技術が注目されるに至ったかという背景を表面科学に関係の深い薄膜形成技術について振り返ってみると、次のように考えられる。

“Bulk から Thin Film”へ“Natural Material から Tailored Material (仕立てられた材料すなわち結晶構造やその他の物理的諸性質を人為的に制御した材料)へ”というのが一つの合言葉になり、Functional Device に対する要求が益々厳しくなる現在、従来の熱エネルギー

や化学的エネルギーを用いたいわゆる熱平衡状態下の現象を利用する手法だけでは自由度がたらなくなってきた。そこで、蒸着しようとする物質を真空中または低圧ガス中でイオン化して運動エネルギーを制御し、あるいはイオンの混合量を制御するなどして非熱平衡状態下の現象を利用することによって、被膜形成時の自由度を増加させ、付着力、バックング密度、表面平坦度などの機械的諸性質あるいは反射率、屈折率、光の透過度や減衰率などの光学的諸性質、さらにはアモルファス、C軸配向性、単結晶などの結晶学的諸性質を三次元的に制御する、あるいは制御せざるを得ないというのが第一の理由であろう。

第2には、IC から超 LSI、さらにより機能的デバイスへと開発が進むにつれて製造工程が複雑となり、前工程で得られた不純物分布や特性になら変化を与えることなく次の工程が行なえるプロセスが要求される。そのためには、なによりも比較的低い温度でやれるプロセスでなければならない。比較的低い温度の目安は最高 800°Cとされている。もっと低くて済めばネサコーティングやガラス基板も使用できるし、処理温度が低いほど室温に戻したときの内部歪も少ない。この実現のためには、必要なエネルギーの一部または大部分をイオンのもつ運動エネルギーやイオンのもつ電荷の効果で置き換えて必要最小限のエネルギーだけ熱処理にまかせるのは極めて賢明な方法である。

第3には、一般に熱拡散やメッキといったような化学的手法は、自動制御的な立場からみるとフィードバックループが組みにくいのに対して、イオン工学のような物理的手法はそれがやり易い。例えば、蒸着中に接触抵抗、表面抵抗や蒸着速度などを測定しながら、その信号にあわせて即座に加速電圧やイオン化電流を変化するこ

とができるので自動化に適している。このことは、無人化と理想的な無塵化への早道であると言うことに合致している。

以上述べたような理由から、イオンを基礎とした技術つまり非熱平衡状態下の現象を利用したドライブプロセスが大いに注目されることとなった。

薄膜形成時におけるイオンの効果や運動エネルギーの効果あるいは基板上での吸着原子のマイグレーション効果などが、これらの手法を使うことによって基板の温度を変えないで自由に制御することができるので、被膜形成機構の研究、たとえば、薄膜形成あるいは結晶成長の初期段階における結晶核の形成と成長 (nucleation and growth of nuclei), 凝集 (coalescence) などの解明に新しい手段を与えるともいえる。

イオン工学的技術に関する研究会活動も盛んである。歴史的には昭和51年度文部省科学研究費総合研究(B)の研究活動の一貫として第1回シンポジウム(国内)が「イオン源とイオン装置」(ISAT '77)として電気学会・電子装置専門委員会(当時)主催のもとに昭和52年(1977年)2月発足したし、引続き文部省総合研究(A)の研究活動の一貫として毎年開催されることになり「イオン源とその応用」(ISAT '78, '79, '80)として電気学会・電子デバイス技術委員会主催のもとに開催され、論文数100編を越えるところまで成長した(論文集は第一回以来すべて英文とし各国の研究者らに配布され、我が国で発足したシンポジウムとして海外にも広く認められるようになった)。今年6月に開催された第6回シンポジウムからはさらに名称を「イオン源とイオンを基礎とした応用技術」(Ion Sources and Ion-Assisted Technology ISLAT-)に修正し急速に発展する関連分野とシンポジウムの内容をより正確に表現することに留意した。ISLAT '81には、このシンポジウムに関連した新しい分野を開発する側面的刺激として日本学術振興会の援助を受けた小規模国際研究集会「イオンを基礎とした薄膜形成技術」に関するシンポジウムが併設され、両シンポジウム合せて国内外から100編以上の論文を集めて京大イオン工学実験施設内・イオン工学懇談会主催、電気学会・電子デバイス技術委員会共催のもとに盛大に行なわれた。昭和55年12月には理化学研究所(イオンビーム工学研究調査委員会)主催のもとに「イオンビーム工学」シンポジウムも開催された。

ヨーロッパに於いても同じ趣旨のもとに1977年6月

エジンバラ市に於いて「イオンプレーティングとその関連技術 (Ion Plating and Allied Techniques-IPAT '77-)」が発足し、第2回目は1979年にロンドン市で開催され、第3回目が1981年7月アムステルダム市で開催される予定である。今回からは会議名の頭文字はそのままで名称を「イオンとプラズマを基礎とした技術」(Ion & Plasma Assisted Techniques-IPAT '81-)に拡大して、急速に進展する関連分野に対処している。次回のIPAT '83は上記日本国内で毎年行なわれている第7回ISIAT '83と合流し、本格的なイオン工学に関する国際会議が昭和58年9月12日~16日まで京都国際会議場に於いて電気学会主催、文部省、学術会議講演会共催のもとに開催すべく準備が進められている。このほか、ヨーロッパでは低エネルギーイオンビームに関する国際会議(International Conference on Low Energy Ion Beam)が1977年9月英国サルフォード市に於いて発し、第2回目は1980年4月英国バース市に於いて開催、次回は1983年4月ヨーロッパに於いて開催の予定である。

ここでいう低エネルギーイオンビームの「低」の意味は数eVから500keVまでに特に注意をむけたもので、イオン工学の思想と全く軌を一にするものであり、加速器工学と明確に区別している。いいかえれば、加速器工学がMVやGVの超高压加速のもとに数pA~数 μ Aのビームを扱ういわばハイインピーダンス的アプローチであるのに対して、イオン工学は数Vから数百Vの加速電圧で、電流はmAからA級にも及ぶ大電流を用いて物性分野にまで研究領域を延ばそうというローインピーダンス的アプローチをも包含したものと見える。

以上述べたように、イオン工学はイオンの発生からイオンオプティックス(集束、偏向、加速、減速)、イオンビーム輸送、イオンビームと固体表面との相互作用までを一貫してとりあげ、核融合(プラズマ加熱、炉壁処理)、高エネルギー物理学(加速器)、重イオン科学、イオンロケット、イオン注入、薄膜形成(蒸着、コーティング)、結晶成長(イオンビームエピタキシー)、化合物合成、イオン加工(イオンエッチング、ミラーリング、超微細加工)、表面分析(イオンマイクロアナライザー)、医学応用(放射線治療、生体組織診断)といった広範囲にわたる応用分野を、イオンの振舞いという立場から総合的に究明しようとするもので、大方の一層のご支援をお願いしたい。