

ETL NEWS



電総研ニュース

ULSI工場を越える環境性能を持つ局所クリーン
システムの開発

超低電圧動作カーボンナノチューブ・フィールド
エミッタの開発に成功

その他

2000.4 vol.603

ULSI工場を越える環境性能を持つ 局所クリーンシステムの開発

Development of a Local Clean System with Environmental Performances Superior to ULSI Factory

材料科学部 半導体界面科学ラボ

Materials Science Division, Semiconductor Interface Science Lab.

A local clean system whose environmental performances are superior to those in a ULSI factory has been developed. This system consists of a glove box to perform sample cleaning, ultra-high vacuum (UHV) evaporator, UHV scanning tunneling microscopy, UHV surface analysis system, and a sample transfer box. The local system has performances of zero count for 0.1 μm particle, the oxygen concentration of 2 ppm, the dissolved oxygen concentration of 0.2 ppb in pure water, and the dew point of -40°C . Using this system, Schottky barrier heights at Al/Si(111) interfaces are characterized. It is found that the residual oxygen in the environment and in solution used rather than the particle concentration strongly affect the electric properties in terms of the leakage current.

1. はじめに

ハイテク技術の代名詞である半導体クリーン化技術は、超LSIデバイスの進展に不可欠なものであり、膨大な研究開発の努力により、着実に進歩してきた。しかし、これまでのクリーン化技術においては、主にLSIチップの歩留まり向上が至上命題であり、その原因を追及するよりも、よりパーティクルの少ない環境を構築することが急務とされてきた。その実現のためには工場全体を清浄化する必要があり、ありとあらゆる材料、設備の清浄化が進められた。その結果、装置の細分化など他の要因も作用して、今日のULSI時代においては、工場建設・運転コストが一社で賄いきれないまでに高騰してしまった。そのような動向は、大学・国研の研究がシリコンというメインロードから離れてゆく一因ともなった。半導体産業の規模と技術力それに収益性を今後も維持してゆくには、パラダイムの転換が図られなければならないことは自明であろう。

そのような背景に対して、本研究では完全な密閉型の局所クリーン環境を有し、試料洗浄/表面分析/電極形成が可能な実験システムを開発した。このような総合システムの開発とそこでの応用実験は、これまでなされたことがない新しい試みである。これにより、個人レベルでULSI工場を越える清浄環境がローコスト・省スペースで構築可能であることを実証した。また、その環境自体を研究対象とし、これ

までのパーティクルフリーに加えて、環境における酸素の重大な役割に関して知見を得ることができた。以下ではその概要を述べる。

2. 局所クリーンシステムの特性

半導体技術に関連した研究を行うに当たっては、まず、膨大な既存技術を把握し、その要素技術からマस्पロダクション・製造のための個別技術に特化した部分を取り去って捉えることが何よりも肝要である。それにより技術の本質がみえ、それが結果として新たな技術開発につながる。通常パーティクルフリーを実現するには、ULPAフィルターやケミカルフィルターなどを用いてクリーンルーム全体の空気を循環させるようになっている。しかし、それは、温度安定・パーティクルフリーの経費のかかった清浄空気は排気せずなるべく循環させて運転コストを下げるべきであるという、これまでの非密閉タイプの装置群を配置した“クリーンルーム”という概念に最も適した対処方法であり、普遍的な原理ではない。局所クリーンな環境では、空間体積が極めて小さいので、空気循環する必要はなく、かつ、人間の存在は考慮する必要がないので、窒素雰囲気にするだけで可能となる。局所クリーン化の考え方は、1980年代からあったが、世代の古いクリーンルームでは、コストや技術的課題のデメリットが大きく、また、革新的なメリットは見いだせていなかった。

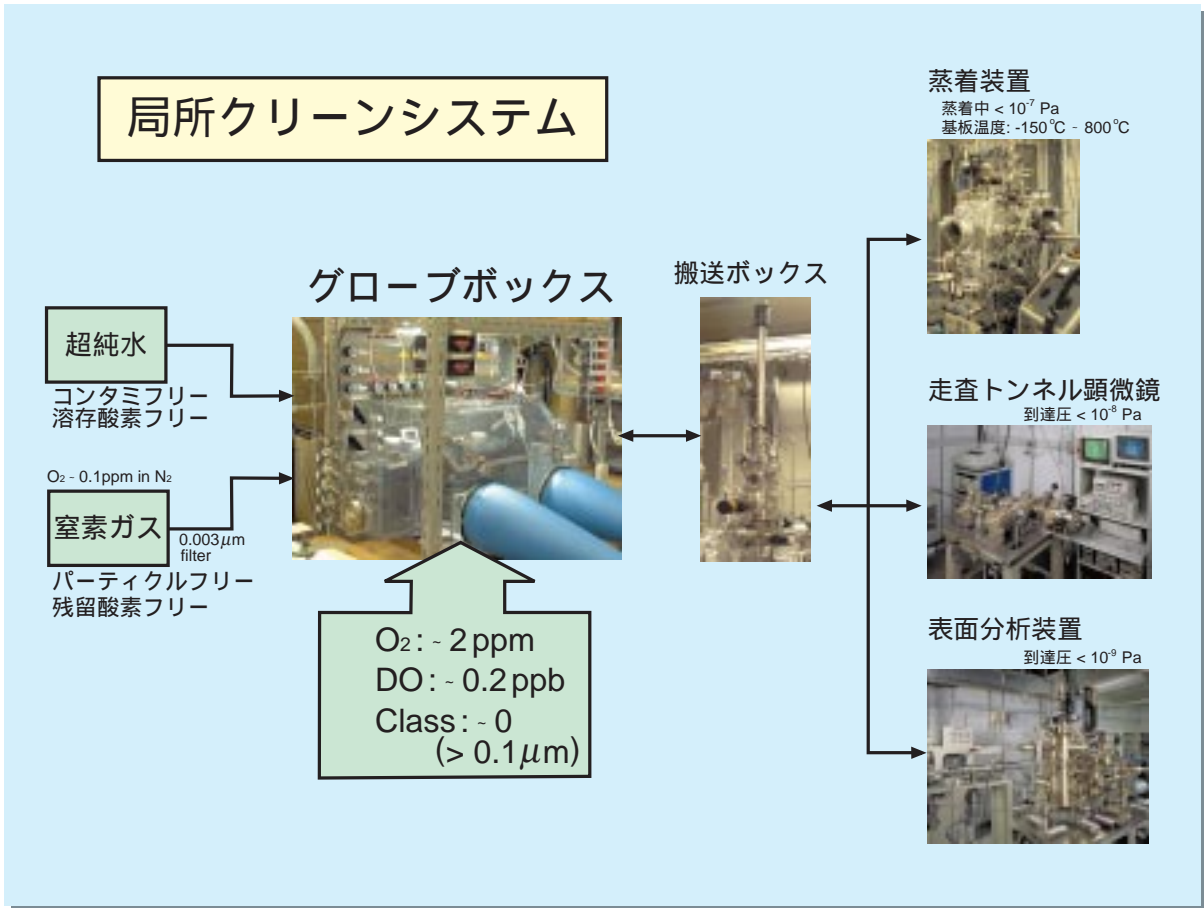


図1 開発した局所クリーンシステム

図1に、我々の局所クリーンシステムのシステム構成を示す。本システムは、窒素雰囲気での試料洗浄用のグローブボックス、超高真空仕様のe-beam型の蒸着装置、超高真空走査型トンネル顕微鏡(Scanning Tunneling Microscopy:STM)、表面分析装置(AES電子分光、X線光電子分光、低速電子線回折、直衝突低速イオン散乱分光)そして、空間的に離れたそれらの間を試料転送する超高真空仕様のステンレス製搬送ボックスにより構成される。STM装置を除き、全て自前の設計であり、ほとんどが手作りである。本ローカルシステム中で大気圧部分は115literであり、部屋全体をクリーン化した場合に比べ、1/2000程度の体積になっている。この115literの中核部分に真空を用いない理由の一つは、超高真空という表面科学の所産概念が、この数十年間の研究努力にもかかわらず、クリーン化という観点で産業に役立つに至らなかったことがある。1気圧であれば、リークに対して、大変ローコストな設計が可能である。肝心なことは、有害な不純物分子・パーティクルは何かを判定し、それらを分圧比の観点から除去することである。

グローブボックス(108liter)を大気暴露した後は、清浄環境を回復するために、初めのうちは30-40literの窒素が導入される。このことから、約3分半で一度内容積分の窒素ガスが入れ替わることになるが、実際には、新しいガスとそれまでのガスは混合するため、同容積分の導入により、酸素やパーティクルなどの不純物の濃度は1/2にしか低減されない。これを1/2lawと呼ぶことにする。図2は、その排気特性を示している。実際の排気においては、酸素分子量は、1/2lawよりも多少速めに減少している。これは、容器の構造によるものである。改良することにより、1/2lawよりもずっと速く排気できるはずである。約1時間後に、酸素分圧は飽和している。最終到達酸素分圧は、2ppm前後であり、実際にその程度の濃度で実験を行っている。大気での酸素濃度が20%であるから、5桁低減されている。この到達圧は、導入窒素ガス中の酸素残留濃度(<0.1ppm)とグローブボックスの密閉の完全性によって決まる。また、定常状態での必要窒素流量は、系のリーク量で決定される。

パーティクルについては、導入窒素ラインの最終

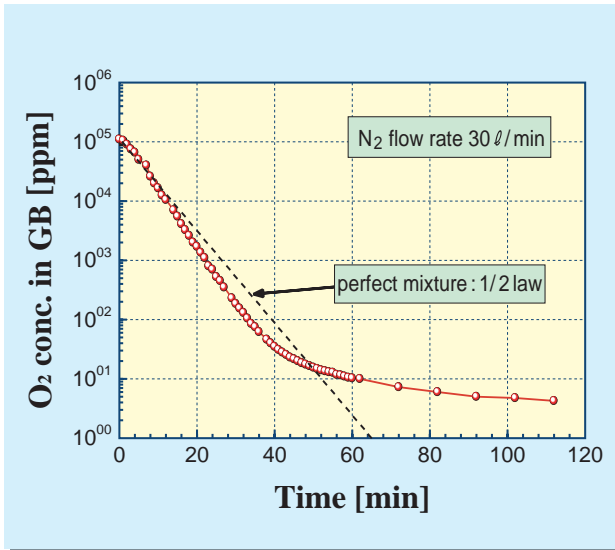


図2 グローブボックスの残留酸素排気特性

段に $0.003\mu\text{m}$ のパーティクルフィルターを挿入してあり、原理的にそれ以上大きさのパーティクルは除去されている。実際に高性能なパーティクルカウンタを使用して、測定した結果を図3に示す。さきほどの“分子”よりも多少速く排気できていることがわかる。傾きがパーティクルによって異なることから、パーティクルのサイズが大きくなるとより速い排気レートを有していることもわかる。静的なガス空間におけるパーティクル運動の振るまいは、Braun運動や重力落下その他の効果により説明されているが、本研究条件の場合は、大変急速なガスの流れのために、Braun運動、重力落下や壁への付着がほとんど無視できる条件になっている。酸素分子が1/2lawよりも速かったことを考慮すれば、今回観測しなかった、 $0.1\mu\text{m}$ 未満の小さなパーティクルも原理的に、1/2law

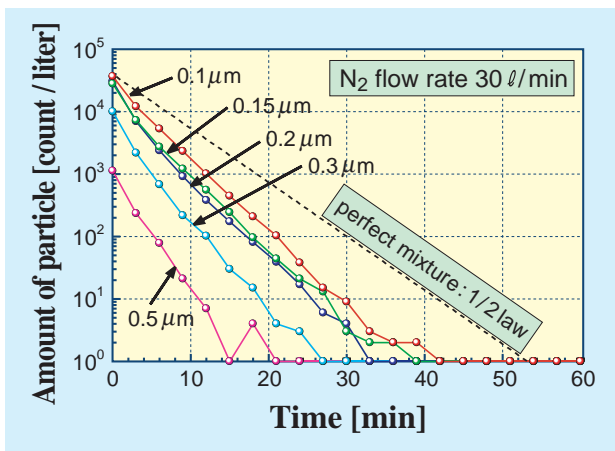


図3 グローブボックスのパーティクル排出特性

以下で低減されてゆくことが容易に予見できる。実際の試料洗浄作業中に、グローブボックス内で、窒素ブローガンを使用しても、パーティクルカウントはほとんど観測されず、時折1カウントされる程度である。人間と製造装置から隔離されたこのような環境では、その性能を維持するのは極めて容易である。

また、水分量に関しては、露点で観測してほぼ -40°C に達する。これは、約13Pa程度の水分圧に対応し、日常生活の尺度で言えば相対湿度0.35%で非常に乾燥している部類にはいる。厳密には、この残留水分量はやはり導入窒素ガス中の水分量で決まってくる。本システムにおいては、現在特にソースガスの水分除去を行っていないので、この程度の値にとどまっている。また、作業中の水分量は、薬液によって大変左右される。水分量をどの程度に設定すべきかについてはそれ自体研究対象であるが、試料表面への影響は、おおまかには残留酸素分子量とのトレードオフであると考えべきである。

本システムの酸素フリー空間では、超純水及び薬液中の溶存酸素濃度 (Dissolved Oxygen:DO) は自然と低減される。Henryの希釈溶体の法則によれば、気体中の意図する分子分圧と、それに接する溶液中の分子分圧は正比例の関係にある。通常の大気に放置された水中のDOの飽和値はほぼ8ppmであるから、酸素濃度がほぼ5桁減っている本環境においては、0.08ppb(酸素ガス濃度2ppmの場合)が理論的DO濃度となる。実際、図4にあるように、グローブボックス導入後からDO量が減少し、ほぼ0.2ppb程度まで到達している。この値は、LSI工場のユースポイント(実際の解放系洗浄液槽中ではずっと値が高くなる)で

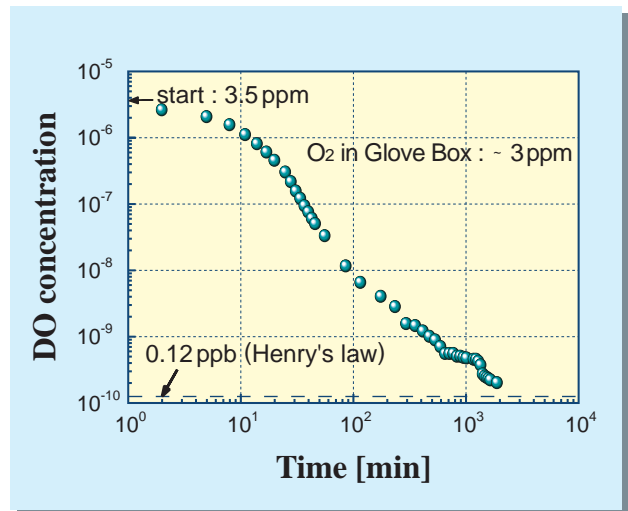


図4 グローブボックス中の超純水中の溶存酸素減衰特性

	本局所クリーンシステム (実測値)	最新鋭ULSI工場 (仕様)
パーティクル [0.1 $\mu\text{m}/\text{m}^3$]	no count	~ 10 (最適環境にて)
酸素濃度	2×10^{-6}	0.21 (非制御)
超純水中溶存酸素濃度 [ppb]	0.2	1-100 (不安定)
相対湿度 [%]	0.35	30-35
大気圧部分の比容積	~ 0.0005	1
消費ガス量 [m^3/min] (ミニクリーンルーム 200 m^2 の場合)	窒素 0.005	空気 100-200 (設計・運用による)

表1 局所クリーンシステムと最新鋭 ULSI 工場の環境性能比較

の超純水内の DO 値を遙かにしたまわる。

以上、グローブボックス内の環境物理量について述べた。参考のために、通常の最新鋭工場との比較を表1に示す。局所クリーンシステムの原理的優位性は明らかである。このように半導体デバイス工場でも、個人レベルで半導体デバイスの最先端設備を越える環境で実験を行うことは、不可能なことではない。

3. 局所クリーンシステムの応用例

– Al/Si の Schottky 障壁に及ぼす影響 –

本システムの応用の一例として、これまで未解明であった、表面処理および Schottky 界面形成における、パーティクルと酸素の影響を分離するために行った実験について述べる。Schottky 障壁は、界面準位密度によってリーク電流や障壁高さが著しく影響される物理量である。界面準位密度は、特にアニールを施さずに金属堆積した場合は、半導体表面の表面準位密度に強く影響される。従って、表面の理想性を電子状態の観点から探るのに最も適した観測物理量であるといえる。

従来の金属/Si系の Schottky 障壁の膨大な報告例によれば、たとえ意図的アニールを施さない界面であっても、界面数原子層程度のところでは、Siと金属の相互拡散によるシリサイド化反応が観測されている。従って、表面の洗浄度を界面の電気的特性になるべく直接的に反映させるには、低温での金属堆積を行って化学反応を抑える必要がある。残念なことに、電気的な特性制御を意図した低温金属堆積実験は、金属/GaAs系でこれまでたった1例歴史的に報告されているだけであり、これから検討すべき方法論であるともいえる。本研究においては、金属堆積に際してSi基板を-80°Cまで冷却した。このような冷却実験

では、Si基板の吸着率が上がり汚染が進むことが心配されるので、ベース真空度と金属堆積中の真空度を向上させる必要がある。現実のデバイスプロセス環境を想定すると、低温蒸着は有用であるとはいいたがたい。しかし、より低温での金属堆積は、表面の不完全性を補う効果があると、筆者は考えている。具体的には、多少不完全な終端サイトがあった場合、低温では化学反応が起こらないのに、室温では、そこで化学反応が進行してしまう、ということは十分に考えられることである。従って、より構造的かつ電子状態として理想的な表面が形成できるようになれば、低温化は必要なくなる可能性はある。

実験には、*n*-Si(111)基板を用いた。全ての試料は、前処理後、グローブボックス内で、5%フッ酸により、自然酸化膜を除去した後、40%のNH₄F溶液に5分間浸漬させた。NH₄F溶液は、溶存酸素を低減したもの(約10ppb)とそうでないもの(約1ppm)の2種類利用した。最終的には、全ての試料は、溶存酸素フリー(0.2ppb)の超純水中でリンスされ、N₂ブロー処理後、サンプルホルダーに装着して、大気暴露しない状態を保ったまま、超高真空蒸着装置に運ばれ、約200°C程度の超高真空加熱で水分除去後、Si基板を冷却し、アルミニウムを蒸着した。初期膜形成時の真空度は、 2×10^{-10} Torr程度である。

図5は、グローブボックス内でのクリーン化処理を行わず、アルミニウムを室温蒸着した場合(手順1)の Schottky 障壁高さ と理想係数 *n* との関係を示したものである。*n* 値は極めて大きく、これはリーク電流が大変大きいことを意味する。またその量は、電極ごとに大幅に異なることがわかる。このような質の悪さはずっと以前から知られており、この実験においても同じ結果を得ている。ちなみに、アニールを施すと、リーク量は大幅に改善する。これは、主に、界面が表

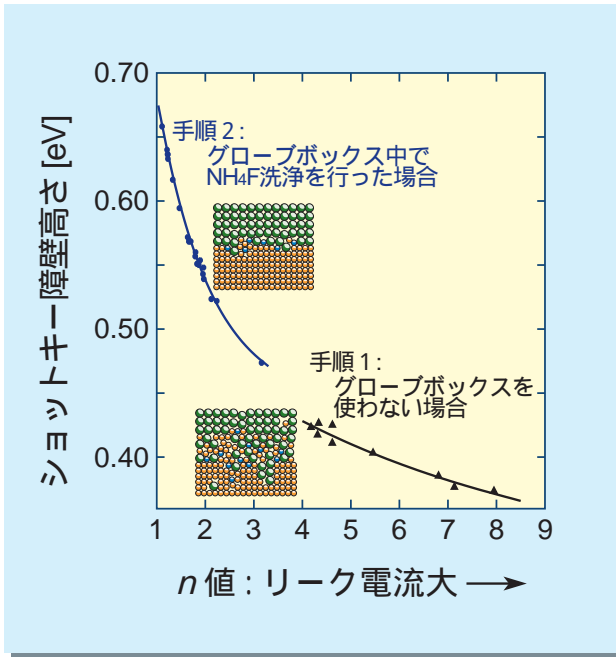


図5 Si(111)上のAl電極のSchottky特性
- グローブボックスの有り無しの違い -

面よりもSi基板側へ移動するためである。次に、溶存酸素の制御を行わないNH₄F処理をグローブボックス内で行い、かつ基板温度-80°Cで低温蒸着を行った場合(手順2)を同じ図に示す。この改善により、大幅にリーク電流の減少が見られたが、依然としてn値は、1から2の間に広く分布している。

図6は、手順2と、溶存酸素を低減したNH₄F薬液

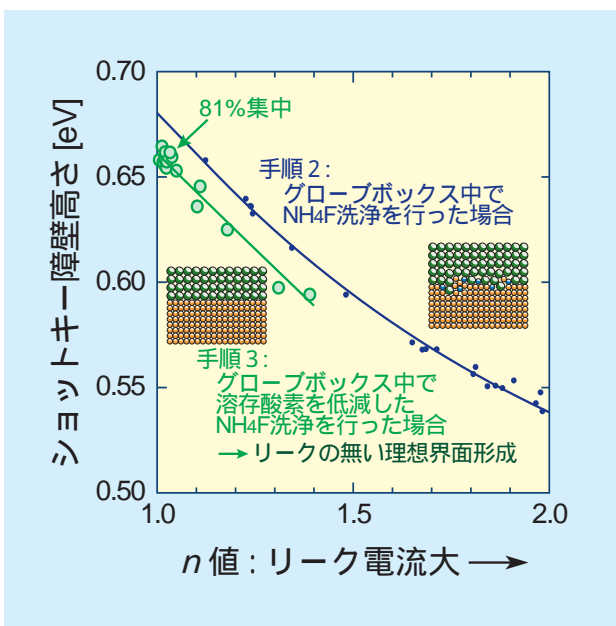


図6 Si(111)上のAl電極のSchottky特性
- NH₄F中の溶存酸素の有り無しでの違い -

を用いた場合の手順3とを併せて示している。手順3では、約30個の電極の81%が $n \leq 1.05$ の範囲に収まるという、n値の劇的な改善が見られた。このことは、これまで無視されてきた、NH₄F薬液中の溶存酸素が、Si表面の表面準位密度と密接な関係を持っていることを示唆している。すでに、溶存酸素を低減したNH₄F薬液への浸漬により、Si(111)表面のエッチピットが劇的に減少し、またステップ形状がより直線的になること(キंक数の減少)が、スタンフォード大のグループより報告されている。手順3では、このようなSi表面のよりステップ線密度の減少した、つまり原子レベルでの平坦性の向上した表面の効果が現れ、リークの減少につながったと考えるのが妥当である。

次に、酸素ガスの影響を調べた。図7は、手順3において、最終超純水リンス後に、酸素20%、窒素80%のパーティクルフリー人工大気に60分間暴露するプロセスを挿入した場合(手順4)を示してある。図6の手順3と比較して図7は、n値の大幅な劣化が見られ、人工大気暴露の影響は明らかであった。暴露時間を5分間に限定した実験でも、ほぼ同様なリーク効果が確認できた。また、同時間本物の大気にさらしたのも、この人工大気暴露試料とほぼ同様のリーク特性を示した。このことは、界面のリーク特性には、パーティクルよりも、酸素の効果が大変大きいことを示している。

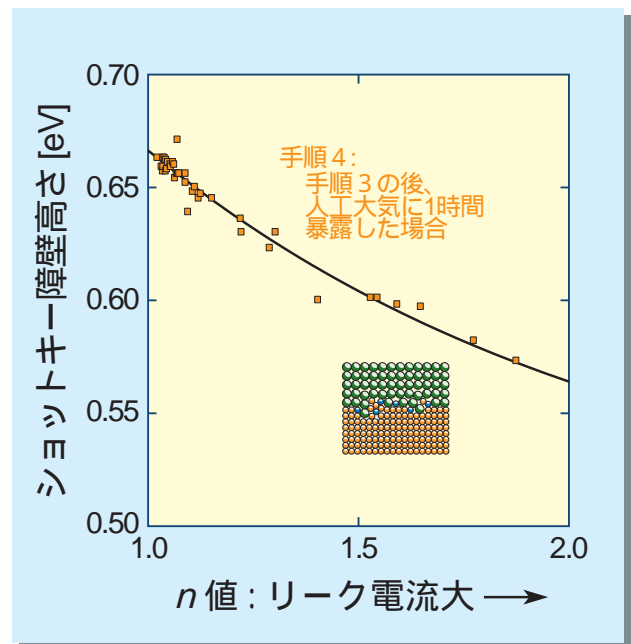


図7 Si(111)上のAl電極のSchottky特性
- 手順3の後、人工大気に1時間試料をさらした場合 -

近年、Si表面の酸化過程の研究の進展により、初期酸化特に熱酸化に於いては、酸素分子は水素終端していないSiのバックボンドに割り込む形で吸着することがわかってきている。しかし、最初の吸着サイトがどのように決定されるかなど体系だった理解は研究途上にある。液体処理表面のように完全に水素終端した表面への室温吸着の場合にも、そのような割り込み型の酸化過程が成り立つとは限らない。室温でのほんの5分間の酸素/窒素ガス暴露で描像が変わることから、その前段階としてもっと別の非常に速い吸着現象が存在し、それが、界面形成の時にリーク電流の原因として問題となって現れる、という過程も、一つの推測として成り立つ。さらに、先のキンク密度やステップ線密度との関係、そして、この酸素ガス吸着との関係を併せて考えると、ステップ端への酸素の吸着作用がリーク電流と関係を有している可能性がある。

4. まとめと今後の展望

局所クリーン化システムを新たに開発することにより、ULSI工場を越える酸素フリー、パーティクルフリー環境の構築に成功した。このシステムを用いて、界面リーク電流の起源をさぐるための実験をAl/Si(111)を例に取って行い、その結果、薬液中の溶存酸素と、環境に存在する酸素ガスが、結果として形成しているAl/Si界面のリーク特性を大幅に劣化させることが見いだされた。逆に酸素フリーな環境での表面清浄化試料では、 $n=1$ のリークの大幅に抑えられた理想的Schottky障壁がシリサイド形成なしに実現できた。酸素のSi基板への影響は、従来常識よりもずっと微量かつ短時間で起こることも明らかとなった。

さて、LSI工場に今後導入される300mmウェーハ対応の装置群においては、それらの間のウェーハ搬送に対して、FOUP (Front Opening Unified Pod) と呼ばれるボックス型のウェーハ^{フープ}転送容器を用いることが予定されている。この一種のミニエンパイロンメント技術の導入は、奇しくも米国企業主導で規格化・標

準化されつつある。現状のFOUPでは半密閉の性能しか有していないが、将来的にそれを完全密閉型とすることは可能である。そうなれば、酸素制御を人為的に行うことにより、一步次元の進んだ環境でのLSI製造が実現される。そのような米国に先んじた戦略的工場設計が現在の日本に求められていることであろう。

また、クリーン環境は、本ニュースで述べられたように、固定概念的に考えられているよりもシンプルでローコストに実現可能である。大学や中・小規模企業などにおいても、今後は大型施設ではなく、部分的にクリーン化を施した設備を検討してはどうだろうか。

ラボメンバー (Lab. Members)

原 史朗 (Shiro Hara)

e-mail:shara@etl.go.jp

廉 罕雄 (H. W. Yeom)

柴田 典義 (Noriyoshi Shibata)

幾原 雄一 (Yuichi Ikuhara)

材料科学部 (Materials Science Division)

韓国延世大学校 (Yonsei Univ. Korea)

ファインセラミックスセンター (JFCC)

東京大学 (Univ. of Tokyo)

超低電圧動作カーボンナノチューブ・フィールドエミッタの開発に成功

Ultra-Low Biased Field Emitter using Single Wall Carbon Nanotube grown directly on to Silicon Tip

電子デバイス部 電子数制御エレクトロニクスラボ
Electron Devices Division, Electron Number Countable Lab.

The single wall carbon nanotube with the diameter of 1~2nm grown directly on to silicon tip was used as an ultra-sharp field emitter. The emitter has 10 to 20 times smaller diameter than the conventional silicon field emitter. The threshold voltage of the field emission for the carbon nanotube field emitter becomes as small as 10V which is 10~50times smaller than the conventional silicon tip field emitter because of the smaller diameter of the carbon nanotube emitter. This single wall carbon nanotube field emitter could be applicable to the flat panel display of wide view TV or mobile monitor, etc.

1. はじめに

フィールドエミッタは、先端を急峻にとがらせたシリコンや金属先端に強い電界を印加して電子を放出させるものである。この放出した電子を蛍光面に照射することによりディスプレイとして用いることができる。この方法を用いると、従来のブラウン管に代わる次世代のフラットパネルディスプレイが実現可能となるとして注目をあびている。しかし従来のフィールドエミッタは、物理的な微細加工を用いているために急峻な先端が形成できず、電子を放出するために必要な電圧は100V以上も必要であり、また

均一性、作製歩留まりが悪くコストが高いという欠点があった。これらの諸問題を解決する手法として、単層カーボンナノチューブをシリコンチップ先端へ直接、熱CVD法で形成する手法を開発し、従来の1/10~1/50という10Vの低電圧で電子放出に成功した。

2. 従来技術の問題点

従来から提案されているフィールドエミッタは、電子を放出させる急峻な円錐状の形状を、シリコンに特殊なエッチングを行って形成したり、金属を斜めから回転させて堆積して形成するという特殊な方

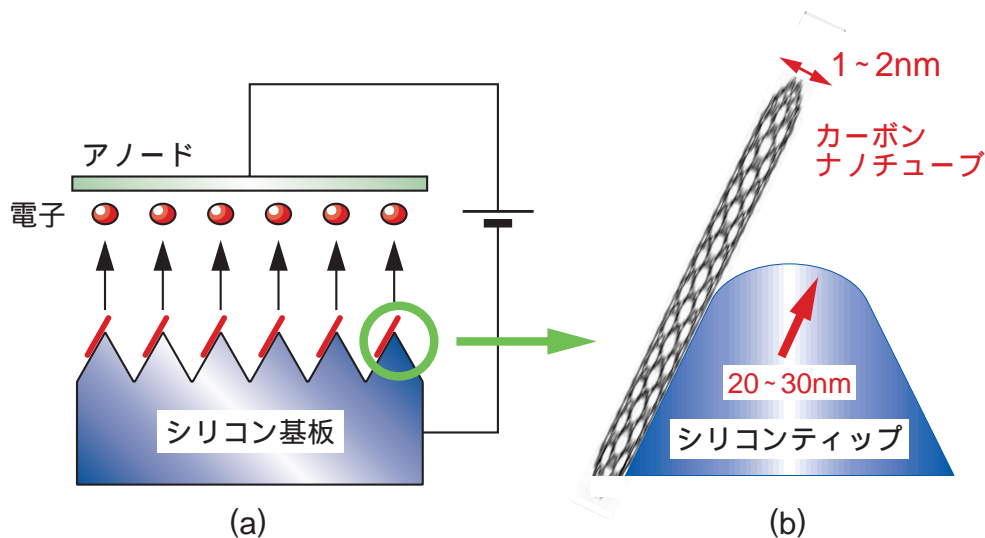


図1 (a) 新型カーボンナノチューブフィールドエミッタの構造
(b) エミッタ先端部の拡大図

法で形成している。これらの方法は、以下に示す様な問題点を含んでいた。

- (1) 人工的な微細加工を用いているために、急峻な円錐状の先端のサイズを、20~30nm以下にすることは不可能であった。電子を放出させることができる電圧は、先端が急峻であればあるほど低くなる。そのため、従来の20~30nmの大きなサイズのフィールドエミッタでは、電子を放出させるために100V以上の電圧を印加する必要があった。
- (2) 従来の作製方法は、特殊で高度な微細加工を必要とするため、急峻性を有する円錐状の形状を、均一に作製することが困難であった。そのため、大きな面積に渡って多数のフィールドエミッタを作製した場合に、特性がばらつくという問題点があり、大面積化が困難であり、歩留まり悪くコストが高くなってしまおうという大きな問題があった。これはフィールドエミッタの最大の応用面であるディスプレイにとって致命的な欠点であった。

このような種々の問題点のために、有望視されながらフィールドエミッタは、現在までに実用化には至っていない。

3. 新型カーボンナノチューブフィールドエミッタ

これら従来のフィールドエミッタの欠点を解決する手法として、カーボンナノチューブを用いた新型構造のフィールドエミッタを開発した。新型フィールドエミッタは図1に示すように、コーン状のシリコンティップ先端から、熱化学気相法(熱CVD法)で単層カーボンナノチューブを直接成長させた構造を有している。化学気相法で成長させた単層カーボンナノチューブは、グラファイトのシート状の層を、円筒状に巻いた構造を有し、直径が1~2nmと従来のシリコンティップの先端と比較して10倍以上急峻である。

作製方法は、通常のシリコン基板にエッチングにより10,900個の円錐状の形状を作製する。この際、コーンの先端は、従来のフィールドエミッターのように、急峻である必要はない。ついでこの円錐状の形状を有する基板に化学触媒をスピン塗布する。化学気相成長炉の中にこの基板を挿入し、高温において、炭化水素系のガスを流入することにより、単層カーボンナノチューブが、触媒を核にしてコーン中腹より成長を開始する。ある成長時間後、単層カーボンナ

ノチューブはファンデル・ワールスカによりシリコンティップに沿って成長し、コーン先端より上に成長する。これにより、単層カーボンナノチューブエミッタの形成が終わる。図2に、形成したカーボンナノチューブフィールドエミッタの電子顕微鏡写真を示す。図2(b)はシリコンティップ全体を示し、ティップの中腹にカーボンナノチューブを成長させる触媒が形成されている。図2(a)は、図2(b)の白丸で囲まれたシリコンティップ先端を拡大した電子顕微鏡写真である。シリコンティップの曲立半径20~30nmと大きいサイズであるのに対して、シリコンティップ先端から成長している単層カーボンナノチューブは10分の1以下の1~2nmのサイズであることが明瞭にわかる。

このように形成した10,900個のカーボンナノチューブエミッタを図1(a)に示すようにエミッタに対向してアノード電極を形成し、アノード、シリコン基板間に電圧を印加し、単層カーボンナノチューブ先端からの電子放出の測定を行った。測定は 6×10^{-4} Torrの真

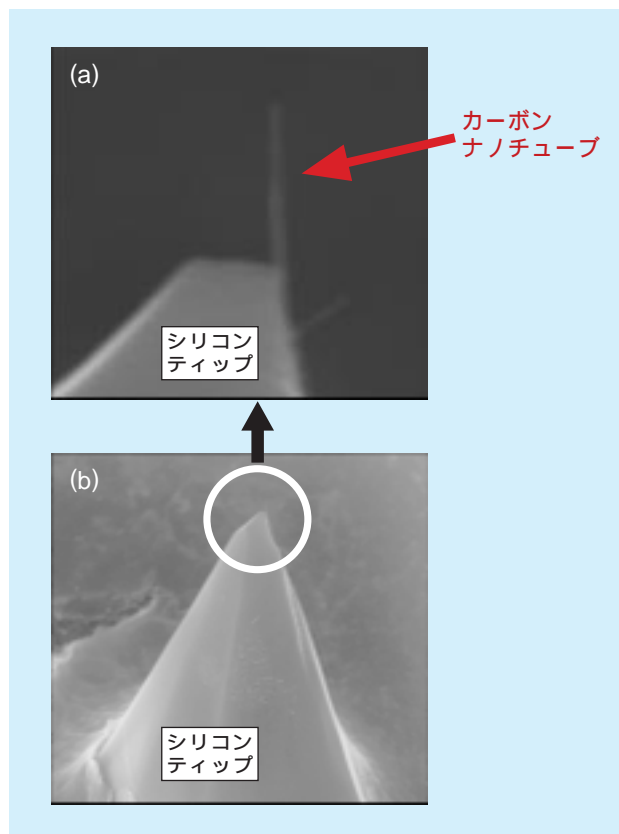


図2 (a) シリコンティップ先端のカーボンナノチューブの拡大電子顕微鏡写真
(b) シリコンティップ先端のカーボンナノチューブの電子顕微鏡写真

空中で行っている。アノード、シリコン基板間の距離は、 $6\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 、 $21\mu\text{m}$ の3種を行った。図3(a)はこの測定により得られた電界放出電子電流 - 印加電圧特性である。アノード、シリコン基板間の距離(図3では電極間距離と表示)が $21\mu\text{m}$ の場合、印加電圧が $\sim 28\text{V}$ から電界放出電子電流が流れ始めることがわかる。電極間距離を小さくするに従い、電界放出電子電流が流れ始める電圧が低くなり、電極間距離 $6\mu\text{m}$ では、 10V から電流が流れ始めている。電極間距離が短くなるに従い、電界放出電子電流が流れ始める電圧が低くなる理由は、同じ電圧でもカーボンナノチューブ先端に印加される電界が高くなるためであ

る。電界が高いほど、カーボンナノチューブ - 真空間のエネルギーバリアが電界により薄くなり、Fowler-Nordheim トンネル電流が増加する。このため、電界放出電流が、高い電界で増加する。図3(b)は図3(a)の特性の電流軸を対数表示にしたものである。電極間距離が $6\mu\text{m}$ の場合、 10V の印加電圧で $100\text{pA}(10^{-10}\text{A})$ の電流が流れ始めていることがわかる。また 20V では $3 \times 10^{-4}\text{A}$ の電流が流れ、これは電流密度に直すと $2 \times 10^{-4}\text{A}/\text{cm}^2$ である。この電流密度は、本素子をフィールドエミッタディスプレイとして用いた場合に、蛍光面を発光させるために十分な電流密度である。

上述した電流が、本当に電界放出電子電流であることを確認する必要がある。このために図3の電流電圧特性を、図4に示す Fowler-Nordheim 特性にプロットし直す。図4では、電極間距離が短くなるに従い、Fowler-Nordheim特性の傾きがなだらかになり、電界依存性を明瞭に示している。また Fowler-Nordheim 特性が、いずれの電極間距離のものにおいても4桁から5桁にわたり直線に載っている。これらの結果から、この電流はカーボンナノチューブがアノード電極に接触して流れるオーミック電流等ではなく、Fowler-Nordheim トンネル電流による電界放出電子電流であることが確認できた。

今回開発に成功した新型カーボンナノチューブフィールドエミッタの特長をまとめると、以下のようになる。

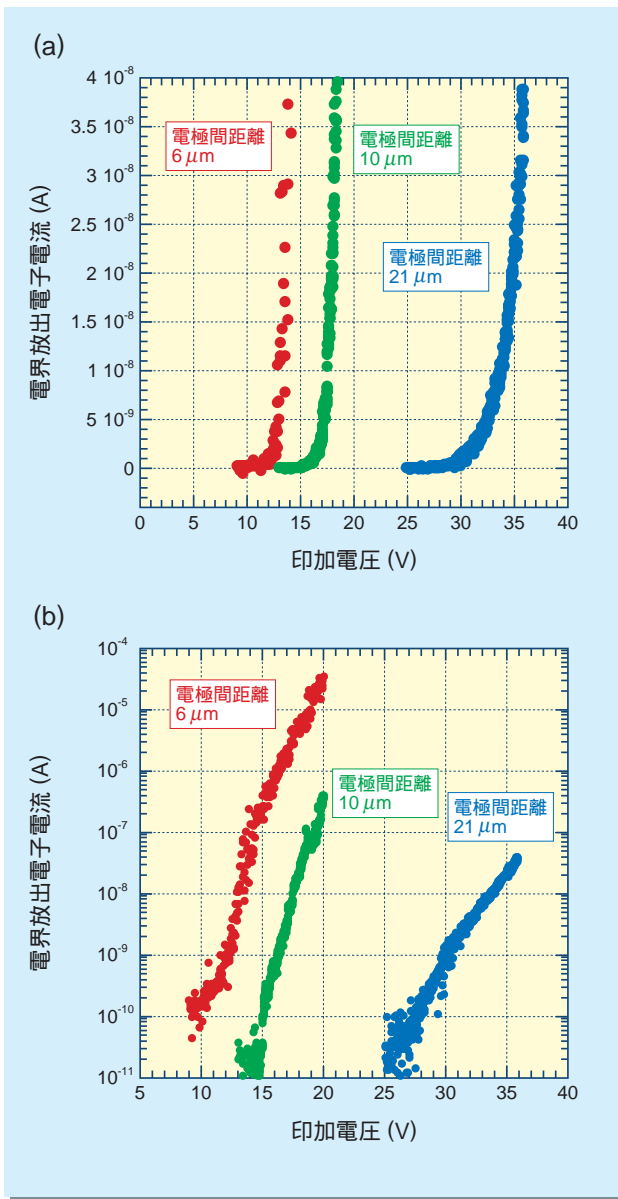


図3 (a) 電界放出電子電流特性(線形表示)
 (b) 電界放出電子電流特性(対数表示)

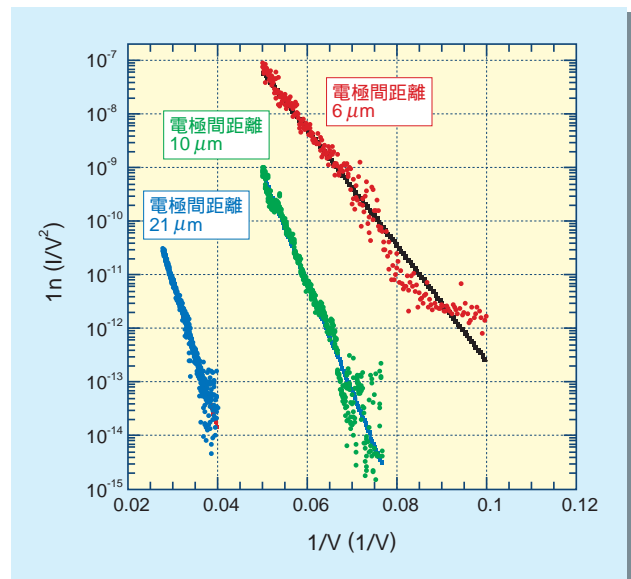


図4 電界放出電子電流の Fowler-Nordheim プロット

特長

- (1) コーン状のシリコンチップ先端に、従来の1/10以下のサイズの直径1~2nmの単層カーボンナノチューブを直接成長させ、急峻な先端を有するエミッタが形成できる。
- (2) 化学気相法で単層カーボンナノチューブを成長させているため、作成が非常に容易で歩留まりが高く、カーボンナノチューブを成長させる位置、数、長さの制御が可能で、大面積にわたり均一なエミッタが形成できる。
- (3) 従来の微細加工を用いず、新しい化学的ナノテクノロジーを有効利用している。そのため、高価な微細加工の必要が無く、コストの低減が可能である。
- (4) 単層カーボンナノチューブの直径が1~2nmと急峻で、かつ対向電極を6 μ mまで近接できる。このために、本新型フィールドエミッタではわずか10Vという低電圧で電子の放出が可能となった。これは従来のフィールドエミッタに比較して1/10~1/50の低電圧である。

これらの特長を有する本新型フィールドエミッタは次の様な無限の応用、用途があると考えられる。

応用

- (1) 低電圧駆動が必須のあらゆる種類の携帯フラットパネルディスプレイ。
- (2) 大面積化が容易であるため、大型フラットパネルディスプレイ。
- (3) 低電圧小型電子顕微鏡あるいは低電圧電子ビーム露光装置等の電子銃。

4. まとめと将来展望

本新型フィールドエミッタは、従来のフィールドエミッタの有する問題点を全て解決しただけでなく、10倍以上の大幅な低電圧動作を可能にした。これらの特長により、本新型フィールドエミッタは、様々な応用展開が可能になると考えられる。特に低電圧動作が可能ということは、消費電力の大幅な低減が

可能であることを示唆しており、これから市場が爆発的に延びると予想される携帯機器への搭載が可能になると期待される。低電圧動作の長所は低消費電力だけに留まらず、その開発コストにも多大な影響を与える。例えば従来、静止画、動画のフラットパネルディスプレイにおいて、100V以上のドライバが必要であったが、この値が非常に高く、これがフラットパネルディスプレイ全体の値段を高くする原因になっていた。これに対して10V前後の静止画、動画のドライバ回路の作製は非常に容易であり、コストが大幅に低減できる。さらに15V以下で動作すると、従来からある液晶ドライバがそのまま使える為、開発コストが大幅に低減できるメリットがある。

本新型フィールドエミッタは、大面積化が可能であるため、大型フラットパネルディスプレイへの展開が可能である。新型フィールドエミッタを大型フラットパネルディスプレイへ応用した場合、液晶よりも応答速度が速く輝度が高いために、液晶よりも精細な動画が可能になると予測される。

また特殊な用途では、低電圧動作小型電子顕微鏡、電子ビーム露光装置の電子銃への応用も考えられる。

謝辞

本研究は構想の段階から(財)新世代研究所専務理事の内山哲夫氏から様々な情報提供、叱咤激励等御世話になりました。素子の作製、素子特性の測定の成功は、木下誠三氏(明治大学)後藤芳孝氏(筑波大学)のたゆまぬ努力の賜物です。図2の鮮明なカーボンナノチューブの電子顕微鏡写真の撮影には原市聡氏(電子デバイス部)の貴重なご助力をいただきました。ここに記して、皆様の多大な御協力に感謝します。

ラボリーダー (Lab. Leader)

松本 和彦 (Kazuhiko Matsumoto)

e-mail:kmatumot@etl.go.jp

電子デバイス部 (Electron Devices Division)

人事異動

氏名	(新)	(旧)
平成12年3月31日付		
山田 博三	辞職	知能情報部主任研究官
松原 仁	辞職	知能情報部主任研究官
山名 早人	辞職	情報アーキテクチャ部主任研究官
杉崎 弓	退職	電子技術総合研究所主任研究官
吉廣 和夫	退職	電子基礎部主任研究官
平林 正之	退職	材料科学部主任研究官
大西 紀男	退職	材料科学部主任研究官
川口 勝久	退職	材料科学部主任研究官
清水 啓三	退職	電子デバイス部主任研究官
不破 正宏	退職	量子放射部主任研究官
奥尾 隆保	退職	エネルギー基礎部主任研究官
實近 憲昭	退職	知能情報部主任研究官
岩松 聰	退職	知能情報部主任研究官
西本 昭男	退職	大阪ライフエレクトロニクス研究センター主任研究官
平成12年4月1日付		
清水 秀明	文部省(香川大学)	超分子部主任研究官
田中 勝	文部省(埼玉大学)	情報科学部主任研究官
開 一夫	文部省(東京大学)	情報科学部主任研究官
奥村 元	休職 ((財)新機能素子研究開発協会)	材料科学部主任研究官
和田 敏美	復職 (電子デバイス部主任研究官)	休職 ((財)新機能素子研究開発協会)
中村 章人	企画室企画班の併任解除 機械情報産業局電子機器課の併任解除	情報アーキテクチャ部主任研究官兼企画室 企画班兼機械情報産業局電子機器課
須崎 有康	企画室企画班に併任 機械情報産業局電子機器課に併任	情報アーキテクチャ部主任研究官
音田 弘	企画室開発班の併任解除 工業技術院総務部研究開発官(電子・情報・通信担当)付の併任解除 工業技術院総務部技術評価課の併任解除	知能システム部主任研究官兼企画室開発班 兼工業技術院総務部研究開発官(電子・情報・通信担当)付兼総務部技術評価課
丹羽 竜哉	企画室開発班に併任 工業技術院総務部研究開発官(電子・情報・通信担当)付に併任 工業技術院総務部技術評価課に併任	情報科学部主任研究官
安藤 淳	企画室開発班の併任解除 工業技術院総務部研究開発官(電子・情報・通信担当)付の併任解除 工業技術院総務部技術評価課の併任解除	電子デバイス部主任研究官兼企画室開発班 兼工業技術院総務部研究開発官(電子・情報・通信担当)付兼総務部技術評価課

氏名	(新)	(旧)
佐々木 仁	企画室開発班に併任 工業技術院総務部研究開発官(電子・情報・通信担当)付に併任 工業技術院総務部技術評価課に併任	電子デバイス部主任研究官
永見 武司	企画室に併任	知能情報部
菅野 義之	企画室運営班運営係長の併任解除	量子放射部主任研究官兼企画室運営班長兼企画室運営班運営係長兼企画室企画班企画係長
八木 康之	工業技術院総務部人事課調査官に併任	エネルギー部主任研究官
関口 智嗣	筑波研究支援総合事務所先端情報計算センター付管理班長の併任解除	情報アーキテクチャ部主任研究官兼企画室兼工業技術院総務部計画課研究管理企画室企画班長兼筑波研究支援総合事務所先端情報計算センター付調整班長兼筑波研究支援総合事務所先端情報計算センター付管理班長
築山 俊史	産学官連携推進センターの併任解除 産学官連携推進センター副センター長に併任	知能システム部主任研究官兼産学官連携推進センター
青山 宏	産学官連携推進センターの併任解除	知能システム部主任研究官兼産学官連携推進センター
清水 三聡	材料科学部に併任	光技術部主任研究官
高澤 孝司	大阪工業技術研究所	大阪ライフエレクトロニクス研究センター庶務課長
阿刀田富美枝	総務部業務課情報検索専門職の併任解除	総務部業務課長補佐兼情報検索専門職
樹神 謙三	総務部研究設備管理課情報通信管理係長に併任 総務部庶務課に併任	総務部研究設備管理課長補佐兼設計係長
榎原 喜久雄	大阪ライフエレクトロニクス研究センター庶務課長	大阪工業技術研究所

平成 12 年度入所式 2000年4月3日

本年度の入所式は午前9時50分から大会議室において行われ、新規採用者への辞令交付の後概ね次のような所長挨拶があった。

「辞令とは、社会との契約のひとつとも言える。諸君は、本日交付された辞令により社会との様々な契約を結んだ。契約とは相互の権利・自由と義務とを確認するものである。本日の辞令は研究する自由とともに、社会に対し様々な義務を負う契約であることを自覚して欲しい。研究とは与えられた課題を果たすだけではなく、常にその先にあるものを見ることが大切である。研究は研究者だけでは成り立たない。研究者は社会のつながりの中で何を求められ、何を見出すべきかを考えながら進める眼を持ち続けなければならない。今日社会の中で科学技術は良い意味でも悪い意味でも曲がり角にさしかかっており、研究を取り巻く環境は大きく変わろうとしている。電総研は平成13年度には独立行政法人へ生まれ変わる。諸君はこの転機に入所された。我々は諸君の研究環境、職務環境を下支えするため全力を尽くすが、諸君も社会の期待に応えなければならない。電総研の名は改称されるが、先人達の築き上げた業績を受け継ぐものとして世界の人々の為に初心を忘れずがんばって欲しい。」

所長は最後に「勇気と気概と誇りをもってあらゆることにチャレンジを」の言葉を贈り、挨拶を締めくくった。

その後、所幹部の紹介があり、新規採用者からは自己紹介と抱負が述べられた。



平成12年4月1日採用は研究職19名、行政職4名(女性3名)で以下のとおり。

福田 憲司、HASSANIEN, Abdelrahim Ibrahim、齋藤 秀和(材料科学部)、梶谷 勇(電子デバイス部)、加藤 薫(超分子部)、吉岡 正裕、堂前 篤志(基礎計測部)、廣瀬 雅信、ANTON, Peregrinus Widarta、佐宗 晃(光技術部)、黒澤 忠弘(量子放射部)、秋道 斉、KATHERINE, Dalope Develos(極限技術部)、李 哲虎(エネルギー基礎部)、田中 良夫、大崎 人土(情報アーキテクチャ部)、秋山 泰、川波 弘道(知能情報部)、金広 文男(知能システム部)、早田 好江^{H12.1.1}採用、武士俣 かおり、菅原 真(総務部庶務課)、山井 樹里(総務部研究設備管理課)

[文責:業務課広報係]



2000年1月24日より、電話番号の局番が61局に変更されました。

編集 〒305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-4 工業技術院 電子技術総合研究所 0298(61)5059

表紙写真:局所クリーンシステム(極めて小さなスペースで
ULSI工場より優れたパーティクルフリー環境の構築に成功)

URL <http://www.etl.go.jp/> e-mail:info@etl.go.jp

印刷・製本 ニッセイエプロ株式会社