

# DESARROLLO DE UNA UNIDAD DE SEMICONDUCTORES CON TECNOLOGIA NACIONAL

Alejandro Pedroza Meléndez

Universidad Autónoma de Puebla  
Departamento de Semiconductores I.C.U.A.P.

## RESUMEN

Los resultados de una investigación, carecen de importancia si no repercuten favorablemente en la sociedad. Deben conducir a la creación de una capacidad científica y tecnológica interna, necesaria para seleccionar, asimilar y adaptar tecnologías externas para producir conocimientos propios de acuerdo a las condiciones sociales y económicas internas.

Atendiendo a esto, en el Laboratorio del Departamento de Semiconductores del Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla, se desarrolla el proyecto de una Unidad de Semiconductores, abarcando tres aspectos generales:

- a) Diseño y construcción del equipo necesario en esta tecnología.
- b) Dominio de los procesos tecnológicos, utilizando los equipos desarrollados.
- c) La obtención de materiales indispensables en la fabricación de dispositivos semiconductores; incluyendo el silicio monocristalino.

El propósito a mediano y largo plazo es desarrollar una tecnología capaz de producir dispositivos semiconductores de buena calidad y crear bases y antecedentes en este renglón, que hereden experiencias suficientes para este y otro tipo de tecnologías más avanzadas y la formación de cuadros técnicos capaces de desarrollar este tipo de trabajos.

## ABSTRACT

The results of a research are not important if they do not have a direct and positive influence on the society. They have to lead the beginning of scientific capacity and an internal technology. One has to choose, understand, and to adjust to the foreign technologies, in order to produce own known how according to the social and internal economic conditions.

This has been taken in consideration in the activities of the laboratory of the Semiconductors Unit of the Institute of Sciences of the Universidad Autónoma de Puebla.

The project of the laboratory has three general and important points:

- a) Designing and construction of necessary equipment for the technology.
- b) The complete control (handling) for the technologyc process, using the former developed equipment.
- c) The way to obtain suitable material for devices in semiconductors, including silicon monocrystals.

The middle and longterm purpose is to develope the technology for producing semiconductor devices of best qualities, and also to create a basis and background for leaving sufficient experience for this field and other advanced technologies. And to form technical aspects for development of this field.

Los resultados de una investigación carecen de importancia si no repercuten favorablemente en la sociedad. Deben conducir a la creación de una capacidad científica y tecnológica interna, necesaria para seleccionar, asimilar y adaptar tecnologías externas para producir conocimientos propios que fomenten la investigación científica y tecnológica de acuerdo a las condiciones sociales y económicas internas e induzcan a la autosuficiencia con un alto grado de autodeterminación económica y política.

Debido a factores de orden social, económico, político y cultural que están presentes en todos los países "en vías de desarrollo" como México, se carece aún de la capacidad científica necesaria para la creación de precedentes que conforman toda una herencia científica y tecnológica sustentada por una infraestructura nacional. Esto último, proporcionaría la generación de una cultura que en principio atenuaría nuestra dependencia del exterior en este renglón, haciéndonos más selectivos en la tecnología que consumos y en la ciencia que investigamos; esto es, hacer del nuestro un pueblo que genere ciencia y tecnología y no que sólo las consuma.



En México, contamos con recursos humanos aún insuficientes en todas las áreas de investigación que, sin embargo, son altamente calificados, y desempeñan esa actividad necesaria con recursos económicos que, aunque limitados, son suficientes para mantener una comunidad científica activa.

La generación de recursos humanos es una exigencia de primer orden si se pretende realizar proyectos que cuenten con una masa crítica que garantice la realización de éstos hasta sus últimas consecuencias.

En un buen número de instituciones de investigación, adquiere una importancia relevante el grado académico y el número de artículos publicados por los investigadores, lo cual es razonable si atendemos a la necesidad de hacer investigación de calidad y que ésta sea difundida; sin embargo, se da poca importancia a la capacidad que estos investigadores poseen para seleccionar proyectos, técnicas, métodos y equipo para realizarlas. Esto es explicable puesto que la mayoría de los postgrados se realizan en el extranjero, en condiciones de trabajo totalmente diferentes que las de nuestro país, encontrándose frecuentemente con investigaciones que exigen una infraestructura de país avanzado y que en el nuestro se realizan en atención a una moda o relevancia personal. Esto es, investigaciones muy avanzadas que suponen etapas por las que es forzoso pasar, por las que hubieron de pasar sus creadores y que se olvidan que la causa de un conocimiento íntegro lo proporciona el ir de lo más sencillo a lo más complejo y que esto debe redundar en la formación de nuevos investigadores. De esta manera, la actividad de investigación no consistirá en imitaciones que propicien poco avance en adaptación, asimilación de resultados e innovación de técnicas.

En otro orden de cosas, es un hecho conocido que pocas veces el apoyo a proyectos de investigación y los proyectos mismos, estén sujetos a una estrategia científica y tecnológica a largo plazo, sino que atienden a la "importancia" del centro o institución o del investigador que lo propone.

En particular este Departamento de Semiconductores, planteó su proyecto de investigación a partir de la siguiente premisa: el desarrollo de la industria y la investigación dependen principalmente de la instrumentación electrónica en todo su grado de complejidad; esto es, desde la electrónica de componentes discretos (diodos, transistores, compuertas, etc.) hasta sistemas de proceso, análisis y control por computadoras para mencio

nar uno solo. El consumo de ellos ha proporcionado una gran dependencia tecnológica, económica y política del país.

La tecnología para fabricar estos componentes, parece compleja y sofisticada, y lo es. Los poseedores de ella, para lograr sus fines comerciales, limitan su divulgación hacia otros países. En particular en el área de dispositivos semiconductores, algunas industrias bajo el régimen de maquiladoras, se concretan a las etapas finales de encapsulamiento y pruebas eléctricas de los dispositivos procesados en el extranjero, precisamente porque estas últimas etapas son las que requieren mayor mano de obra que por su bajo costo es ventajoso para muchas compañías. Esto tiene como resultado que la fabricación de dichos dispositivos sigan normas y tecnología fuera de control del personal capacitado en el área; además de que la producción de estas maquiladoras no se introduce al mercado nacional, sino que es enviado al extranjero e introducida a nuestro país como producto de importación.

Por lo anterior, identificamos la investigación tecnológica en semiconductores como una actividad estratégica para atenuar la dependencia en los aspectos mencionados anteriormente.

En 1976, se solicitó apoyo económico al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), para el diseño, desarrollo y construcción de una Unidad de Semiconductores de la Universidad Autónoma de Puebla; el Consejo consideró en aquel entonces que en nuestro país se carecía de capacidad técnica y humana para desarrollar este trabajo.

Con algunos meses de anterioridad, este Laboratorio había iniciado sus actividades con recursos económicos de esta Universidad y posteriormente con apoyo también de la Dirección General de Investigación Científica y Tecnológica, dependiente de la S.E.P.

El propósito a mediano y largo plazo es desarrollar una tecnología capaz de producir dispositivos semiconductores de calidad comercial; tales como diodos, transistores bipolares de potencia y frecuencia mediana circuitos integrados, circuitos híbridos, etc., y crear bases y antecedentes en este renglón que hereden experiencias suficientes para otro tipo de tecnologías más avanzadas. Entre los objetivos del Laboratorio destacan principalmente:

- La creación de cuadros técnicos capaces de identificar y solucionar problemas afines a esta tecnología según lo plantea el entorno social.



- Diseñar y construir el equipo que en las distintas etapas requiere la tecnología de semiconductores, para evitar en cuanto sea posible, depender de equipos comerciales importados, lo cual es un punto fundamental para el verdadero dominio de esta tecnología.
- Producción del trabajo inter y multidisciplinario, a fin de evitar la dependencia que crea la superespecialización, fomentando proyectos a nivel interinstitucional y de optimizar recursos.
- Inducir a los estudiantes que trabajan en nuestro Laboratorio y que son estudiantes de esta Universidad, a romper la actitud pasiva heredada de su experiencia académica, encausada a una formación multidisciplinaria.

El antecedente de investigación de este Laboratorio de Semiconductores del Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla, es el siguiente: en un lapso de cinco años, hemos desarrollado el 95% del instrumental para la fabricación de dispositivos semiconductores, tales como transistores, diodos, circuitos integrados y celdas solares con recursos humanos únicamente nacionales.

En cuanto a dispositivos hemos diseñado y desarrollado transistores  $\beta = 100$ , de frecuencia y potencia mediana, diodos sensores de temperatura, compuerta NO-Y de emisor múltiple, celdas solares, amplificador de audio por tecnología híbrida de capa gruesa, etc.

En este renglón de materias primas, hemos desarrollado una resina fotosensible para uso en semiconductores probada exitosamente hasta ahora en la fabricación de circuitos impresos; impresión en aluminio para elaborar carátulas de instrumentos e impresión en acrílico. Actualmente, trabajamos en un equipo para obtener agua desionizada de ultra-alta pureza ( $18 M\Omega - \text{cms.}$ ) y en otro para obtención de fosfina, la cual es un gas usado como contaminante en difusión sobre silicio.

Consideramos oportuno enumerar algunos de los trabajos que se han llevado a cabo con la intención de mostrar la infraestructura creada en equipo y procesos tecnológicos, amén de la infraestructura humana que se ha creado en forma paralela:

- Diseño, desarrollo y construcción de 6 hornos reactores para difusión atómica y oxidación en silicio. Temperatura máxima de trabajo  $1,250^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  y perfil de temperatura útil de trabajo (zona plana)

- de 15 cms.
- Diseño, desarrollo y construcción de una cámara multilente para la fabricación de mascarillas, capaz de reproducir hasta 1,200 transistores.
  - Diseño, desarrollo y construcción de una consola central de control para 6 hornos de difusión atómica.
  - Diseño, desarrollo y construcción de una máquina de alineación para mascarillas. La precisión de esta máquina es de  $\pm 2\mu$ .
  - Diseño, desarrollo y construcción de una máquina centrífuga de 3,000 r.p.m. y otra de 10,000 r.p.m.; ambas con circuito de control de revoluciones y temporalizador.
  - Diseño, desarrollo y construcción de microscopios de pruebas con puntas de tungsteno de movimiento independiente para pruebas eléctricas de los dispositivos.
  - Diseño, desarrollo y construcción de una máquina rayadora para cortar los dados de silicio que contienen los transistores o microcircuitos.
  - Diseño, desarrollo y construcción de un probador de cuatro puntas para medir resistividad de las obleas de silicio.
  - Diseño, desarrollo y construcción de una máquina microsoldadora de ultrasonido. Desarrollo y construcción de una segunda versión de máquina microsoldadora.
  - Diseño, desarrollo y construcción de un horno reactor de tres zonas de calentamiento y control con una zona plana de 80 cms.
  - Diseño y desarrollo de un sistema de excitación digital para motores de paso.
  - Diseño, desarrollo y construcción de un sistema para determinar la orientación de monocristales por medio de reflexión óptica en silicio, germanio, etc.
  - Desarrollo y prueba de escolopendras para circuitos integrados.
  - Diseño de mascarillas para transistores, diodos, celdas solares y compuertas NO-Y.
  - Diseño, desarrollo y construcción de un prototipo industrial del horno-reactor de 6 zonas de calentamiento para tecnología híbrida de capa gruesa. Este horno lleva una banda metálica de tres velocidades controladas por un motor de paso programado.

- Diseño, desarrollo y construcción de un coordinatógrafo y control programable para el cortado de patrones de mascarillas.
- Diseño, desarrollo y construcción de una máquina neumática y electro-mecánica para impresión de componentes híbridos de capa gruesa sobre sustratos de cerámica. Funcionamiento manual y automático.
- Diseño, y maquinado de herramientas para medida de profundidad de difusión por el método de biselado.
- Diseño, desarrollo y construcción de una fuente compacta para luz U.V. de vapor de mercurio de 300 VA. de potencia.
- Diseño, desarrollo y construcción de un tubo de rayos X y fuente de potencia para estudio de monocristales.
- Desarrollo y fabricación de pistolas para limpieza con  $N_2$  de alta pureza.
- Desarrollo teórico y experimental de un transistor de  $\beta = 100$ .
- Desarrollo experimental de celdas solares.
- Estudio de la unión p-n de Diborano en Silicio tipo n.
- Estudio del fenómeno de empuje de emisor (difusión de Fosfina sobre Diborano).
- Desarrollo experimental y estudio del ancho de banda de un transistor bipolar.
- Caracterización de la difusión en celdas solares (profundidad de unión).
- Tratamiento matemático de los datos físico-químicos de las presiones atmosféricas; sus efectos sobre el óxido de silicio.
- Estudio teórico experimental de los efectos fisiológicos por inhalación de diborano y fosfina.
- Pruebas experimentales de depósito de níquel y depósito de cloruro de paladio sobre silicio para contactos de colectores de celdas solares.
- Investigación de trabajo teórico para obtener diodos sensores de luz para un equipo de telefonía.
- Estudio teórico para la obtención de refractario de MgO sintetizado.
- Estudio teórico de difusión de nitruro de boro sobre silicio.



*De trabajos teóricos y experimentales.*

- Estudio del proceso para la fabricación de sustratos de alúmina ( $AlO_3$ ), empleados en circuitos híbridos de capa gruesa.
- Encapsulado y pruebas eléctricas de transistores y compuerta NO-Y.
- Desarrollo teórico y experimental de la obtención de las orientaciones de obleas semiconductoras con una precisión de  $\pm 0.6^\circ$ .
- Realización experimental de oxidaciones y caracterizaciones de espesores en el rango de  $2\mu$  a  $6\mu$ .
- Realización de pulidos mecánicos y químicos de obleas de silicio.
- Realización experimental de fotograbado sobre óxido de silicio y sobre aluminio evaporado.
- Realización experimental de atacado químico con KOH y HF sobre silicio para determinación de estados de superficie.
- Desarrollo técnico para la obtención de fosfina, diborano, trióxido de boro y pentóxido de fósforo.
- Desarrollo experimental de difusiones (Boro y fósforo sobre silicio) y caracterización de las profundidades de uniones obtenidas.

La tecnología de dispositivos semiconductores, involucra procesos altamente sofisticados, tanto en la obtención de materias primas como en la tecnología de procesos para producir los dispositivos propiamente dichos. En ambos aspectos, la complejidad de los equipos desarrollados, constituye por sí sola un área de desarrollo tecnológico verdaderamente impresionante capaz de crear una dependencia tecnológica importante.

Todo esfuerzo por desarrollar uno solo de los anteriores aspectos conllevará a depender fuertemente en los restantes, provocando que los logros obtenidos, así sobresalientes como modestos, carezcan de una infraestructura técnica y humana que los sustente; esto es, que los asimile, los adapte y los capitalice; convirtiéndolos en verdaderos aportes con posibilidades industriales, por lo que es necesario desarrollarlos conjuntamente.

La ampliación de la infraestructura de desarrollo tecnológico, al abarcar los aspectos de instrumentación, producción de dispositivos y obtención de materias primas, debe atenuar en rezago tecnológico en esta disciplina al crear recursos humanos con capacidad para abordar técnicas similares en complejidad con un mayor contenido tecnológico nacional.



A continuación se presenta una serie de fotografías que ilustran el instrumental con que cuenta nuestra institución.

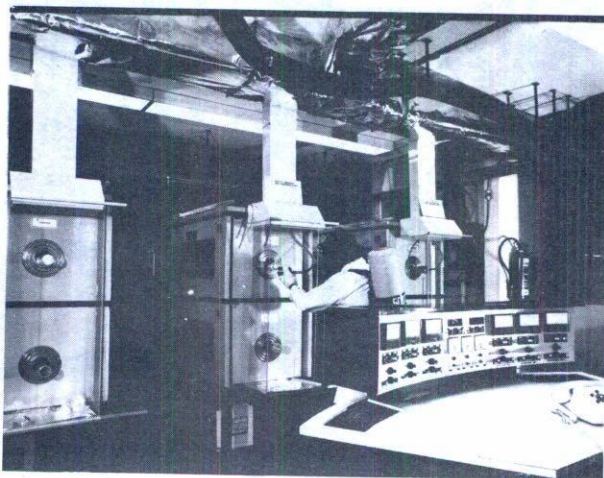


Fig. 1. 6 Hornos de Difusión Atómica.- UAP PEVI-76 controlados desde la consola central -UAP-977-.

Los hornos alcanzan temperaturas de  $1200^{\circ}\text{C}$ ; tiene zonas uniformes de temperatura de 15 cms. c/u; son de tubo abierto y se utilizan en difusión de impurezas con fuente gaseosa. En la consola central se controla la temperatura con variaciones máximas de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ; cuenta con indicadores de temperatura y fuentes de poder y, además, con circuitos de seguridad a las temperaturas excesivas.



Fig. 2. Horno de 3 Zonas -UAP 7903-.

Este horno consta de: 3 zonas controladas a temperaturas independientes que en total hacen una zona uniforme de 60 cms.; el tubo abierto es de 6.75 cms. de diámetro para ser utilizado en la elaboración de celdas solares.

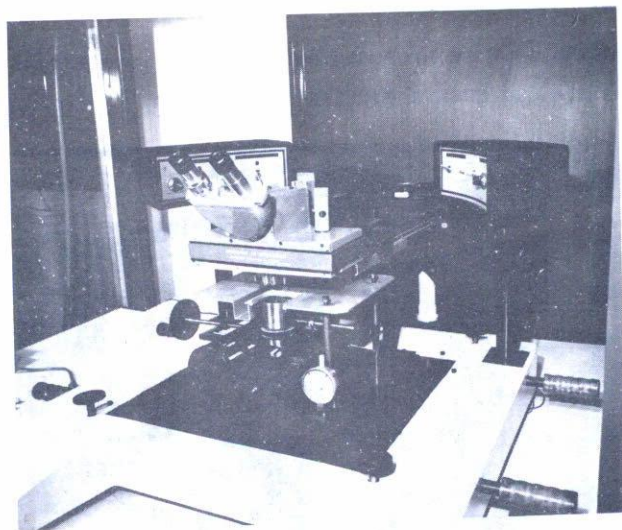


Fig. 3. Máquina Alineadora -UAP 7909-. Básicamente consiste de: un sistema óptico especial con iluminación a través de un filtro que impida que la resina fotosensible reaccione; un sistema mecánico de movimientos finos en X, Y, Z y en el cilindro que sujeta a la oblea por medio de vacío; un sistema electrónico de control de tiempo de exposición, intensidad en campo visual, ventilación y un sistema concentrador de luz ultravioleta. Esta máquina se usa en el fotograbado de obleas para centrar una figuras dentro de otras.



Fig. 4. Máquina Rayadora de Obleas -UAP 7906-. La rayadora se ocupa en el cortado de los dispositivos de la oblea Cuenta con un sistema mecánico con movimientos manuales y automáticos en X, Y, y Z ; una punta de diamante con ajuste de presión sobre la oblea; un microscopio y controles automáticos.



Fig. 5. Microscopio de Puntas -UAP 7710-.

En la caracterización de los dispositivos a nivel de oblea, se necesitan puntas de prueba de puntos muy finos y movimientos extremadamente suaves. Consta de un microscopio para observar el contacto de las puntas y de mecanismos que mueven a éstas en X, Y y Z.

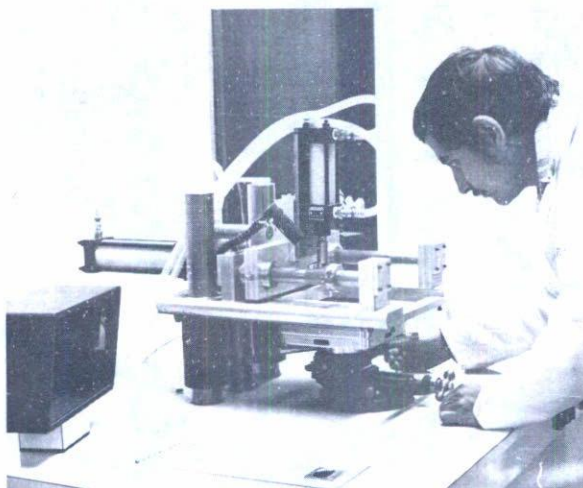


Fig. 6. Impresora Automática y Manual UAP8103, para el desarrollo de tecnología híbrida.

Esta máquina imprime sobre un sustrato de alúmina las resistencias y capacitores que necesitan para esta tecnología.



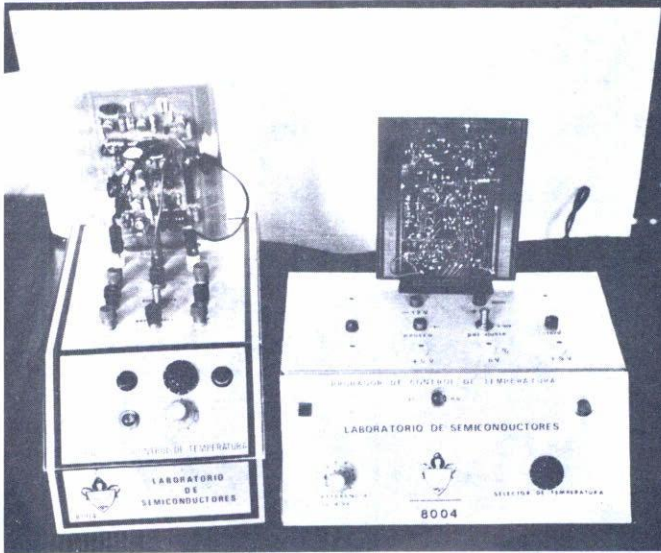


Fig. 7. Probador de control de temperatura UAP 8004. Los probadores de control de temperatura son un instrumental necesario para detectar fallas en los controles, simulando por medio de éstos la temperatura a controlar.



Fig. 8. Microsoldadora Ultrafónica UAP 7907-A. Este aparato es un segundo prototipo para soldar los microcircuitos a las patas de la escolopendra; puede soldar alambre de un diámetro de 20 micras.

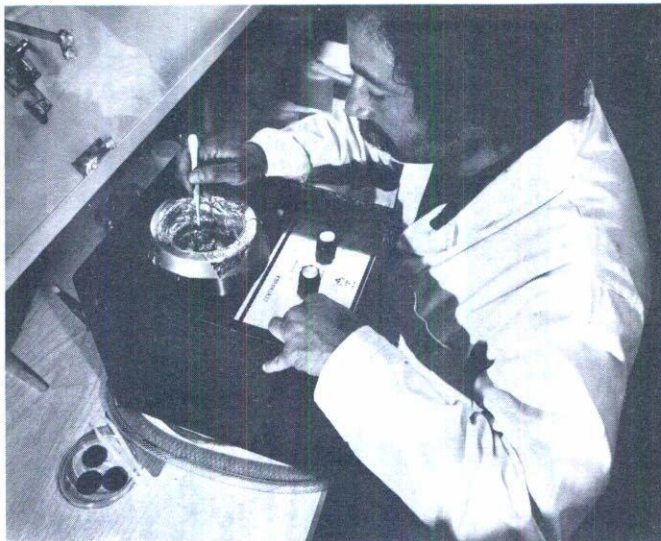


Fig. 9. Centrífuga UAP 7911 para el depósito de resina fotosensible. Tiene sistema de control de revoluciones de 3000 R.P.M., y una segunda versión de 10,000 R.P.M. controladas en tiempo.



Fig. 10. Probador "Tipo" de 4 puntas UAP 784. Esta máquina sirve para determinar la resistencia de cuadro y si un semiconductor es de tipo "P" o "N".

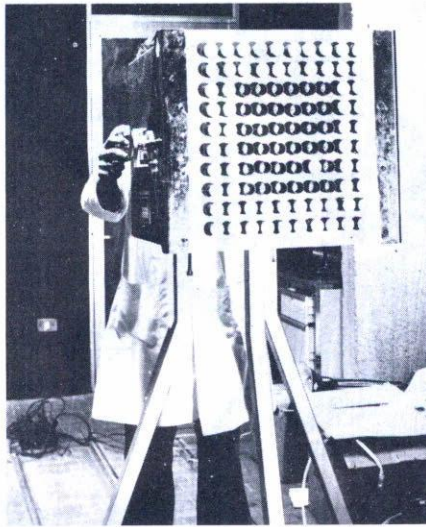


Fig. 11. Cámara multilente para el desarrollo de Mascarillas.  
 Por medio de esta cámara se fotomultiplican los patrones de las zonas de difusión y de contactos. Esta cámara puede multiplicar hasta 1200 veces una imagen.

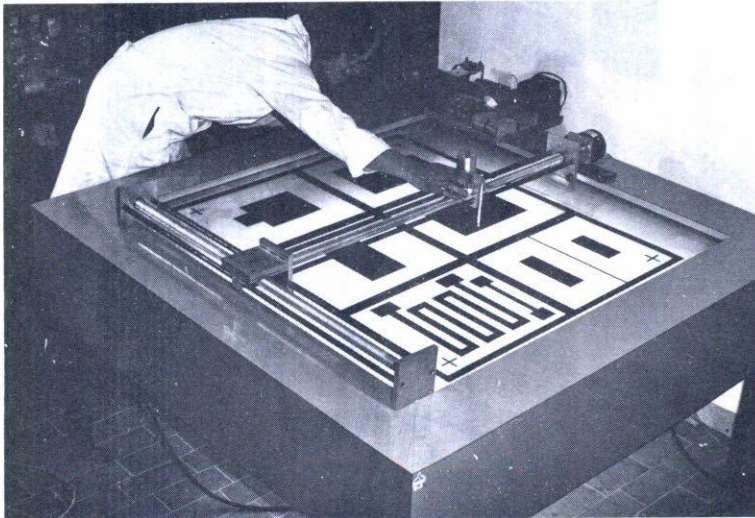


Fig. 12. Coordinatógrafo Cortador UAP 8101  
 Esta máquina corta los patrones de las mascarillas en coordenadas X y Y.



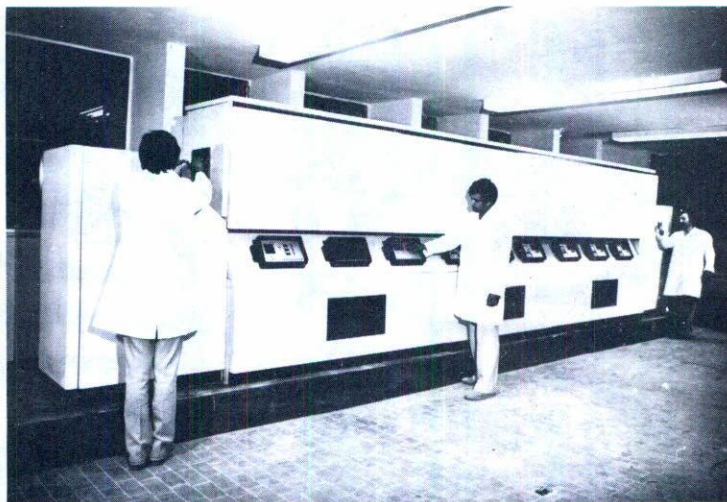


Fig.13. Horno reactor UAP 8000 para el desarrollo de tecnología híbrida. Este horno tiene 6 zonas de calentamiento hasta  $1100^{\circ}\text{C}$ , con un control de temperatura de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  y con un perfil de 3 metros. Tiene un control programable de la velocidad de la banda, sistema de detección de fallas en los controles, reloj digital para determinar los tiempos de procesos y rotámetros integrados. Este horno tiene 8 metros de longitud y un peso aproximadamente 8 toneladas.

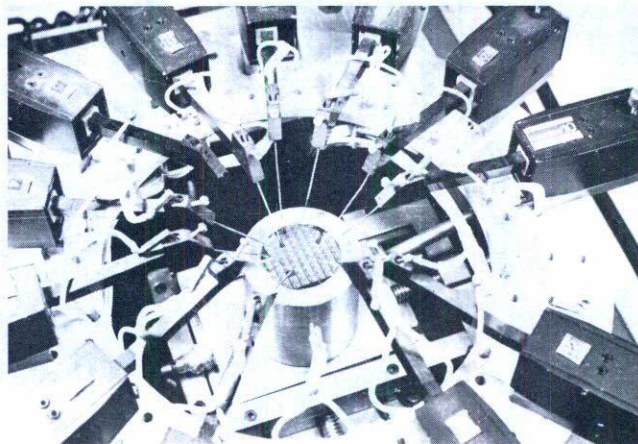


Fig. 14. Caracterización eléctrica de transistores bipolares a nivel de oblea. Esta caracterización, se hace a través de un microscopio de puntas, que consiste de mecanismos con movimientos muy suaves que desplazan las puntas de prueba para lograr contacto en las zonas terminales de dimensiones aproximadas de  $10\mu$  a  $20\mu$  de ancho.

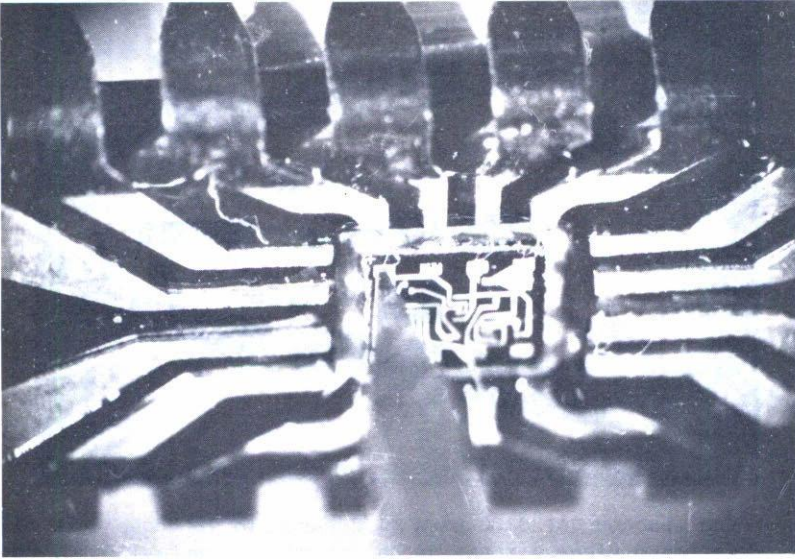


Fig. 15. Microsoldadura con un dado de un microcircuito integrado (compuerta NO-Y). Las conexiones de los contactos del dado, a las terminales del montaje del dispositivo, se hacen con un alambre de aluminio de 25 $\mu$  de diámetro por medio de una aguja acoplada a un transductor ultrasónico

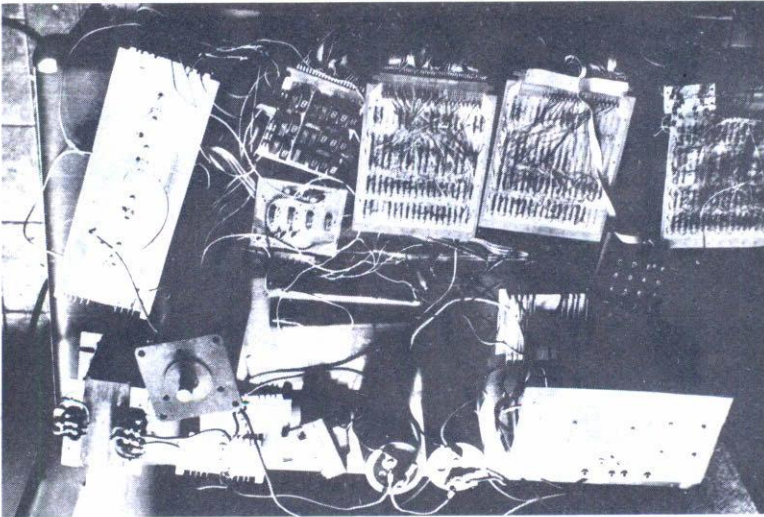


Fig. 16. Sistema de control programable de la velocidad del motor de pasos de la banda en el horno de tecnología híbrida.



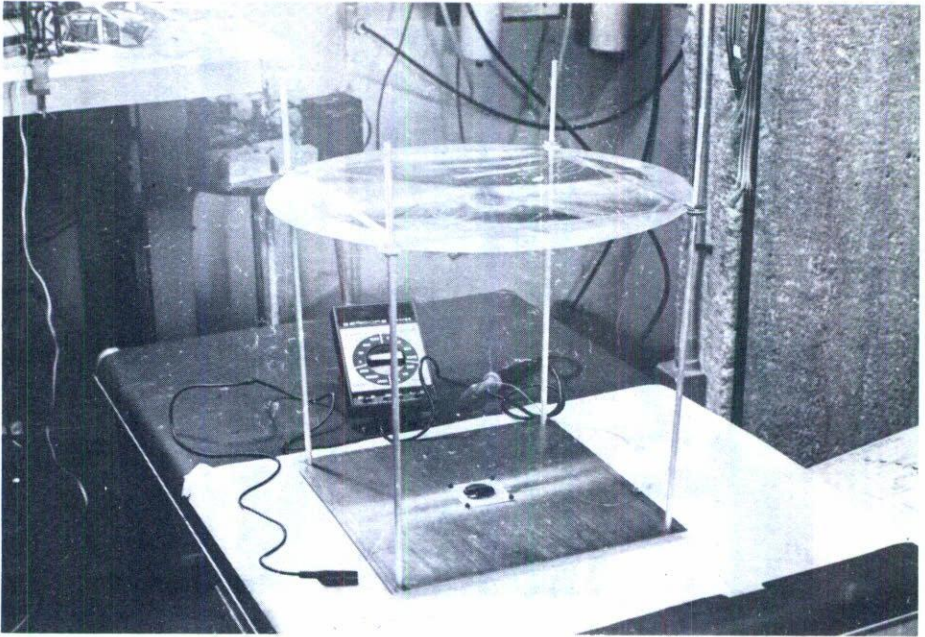


Fig. 17. Sistema de concentración de energía solar sobre una celda fotovoltaica mediante un lente de Fresnel.

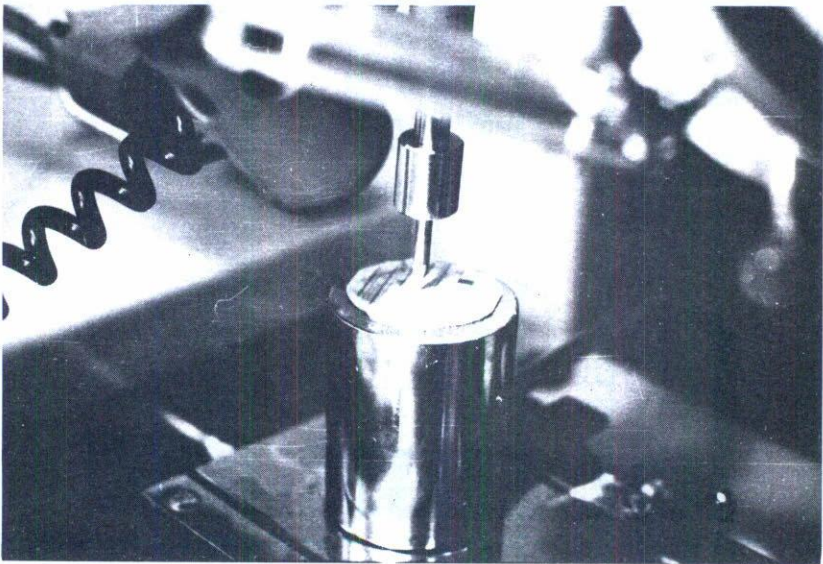


Fig. 18. Proceso de rayado sobre una oblea en dispositivos terminados mediante una punta fina de diamante para, posteriormente, presionar y obtener el corte de los dados, soldarlos y encapsularlos.





Fig. 19. Proceso de difusión de impurezas en obleas de silicio. Normalmente, se hacen dos pasos: Predepósito y Redistribución. Los parámetros de diseño a controlar son tiempo, temperatura y flujo de gases. Estos gases, (Diborano y Fosfina) son altamente tóxicos; de ahí la necesidad de utilizar un equipo de oxígeno para protección del operador.

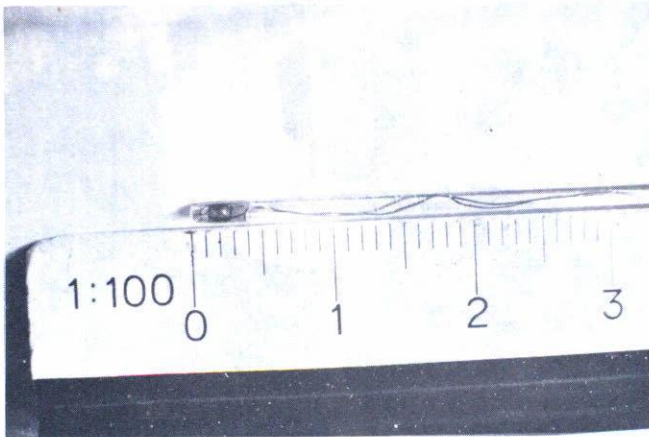


Fig. 20. Diodo sensor de temperatura. La ventaja de la fabricación de los dispositivos, es la de poder encapsularlos de acuerdo a una aplicación específica, como en este caso se trata de aprovechar la variación de las características eléctricas en función de la temperatura con una rapidez de respuesta casi instantánea.

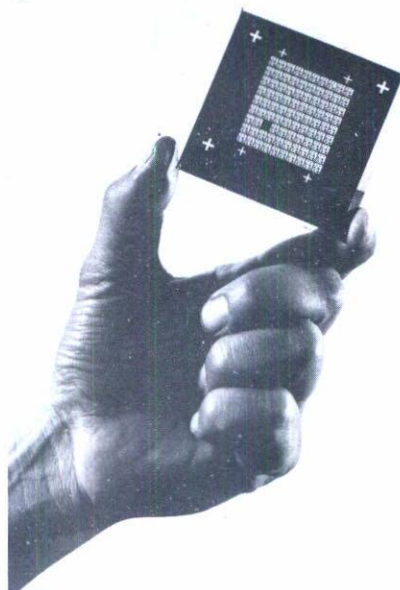


Fig. 21. Mascarilla con más de 2000 ventanas para el desarrollo de emisores.



Fig. 22. Aleación de la oblea de silicio con su respectivo patrón o mascarilla.