

PRIMEROS PASOS DE LAS INVESTIGACIONES EN FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO EN CUBA

Diego de Jesús Alamino Ortega*, Universidad Pedagógica de Matanzas, Cuba, E-mail:

*alamino@filial.serv.edu, spujg@ispmtz.rimed.cu

RESUMEN

Las investigaciones en el campo de la Física en Cuba son relativamente recientes comparadas con la antigüedad de esta ciencia y la práctica mundial; sus inicios se encuentran en la década de los sesenta del recién concluido siglo. La pionera en estas investigaciones ha sido la Escuela de Física de la Universidad de La Habana, fundada en diciembre de 1961, con tantas expectativas como carencias en el orden material y del potencial humano, inclinándose rápidamente hacia las investigaciones en la Física del Estado Sólido, en especial lo referente a semiconductores y metales. Esta dirección de trabajo se proyectaba hacia las necesidades nacionales, unido a la factibilidad de desarrollar este tipo de investigaciones en las condiciones de un país con bajos recursos. A través de entrevistas con protagonistas de aquellos tiempos y fuentes documentales se trata en este trabajo de exponer cómo fueron desarrollados los primeros pasos en las investigaciones en Física del Estado Sólido en Cuba, que pueden verse desde varias vertientes: la formación del personal, la creación de la base material y las investigaciones propiamente dichas. Se enmarca esta etapa inicial hasta 1975, que es cuando se celebra en Cuba el IV Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido, lo que significó el reconocimiento de la comunidad científica internacional a la actividad de los investigadores cubanos en la esfera de la Física del Estado Sólido.

ABSTRACT

The investigations in the field of the Physics in Cuba are relatively new compared with this antiquity science and the world practice; their beginnings are in the sixties of the recently concluded century. The pioneer in these investigations has been the Physics School of Havana's University, founded in December 1961, with so many expectations like lacks in material resources and manpower, leaning quickly toward the investigations in Solid State Physics, especially in semiconductors and metals. This work direction was projected toward the national necessities, together to the feasibility to develop this type of investigations in a country with few resources. Through interviews with protagonists and original documents this work expose how the first steps were developed in the investigations in Solid State Physics in Cuba, this efforts can be analyzed from several point of views: the personal formation, the creation of the material base and properly the investigations. The author frame the first steps development period up to 1975, when in Cuba, the IV Latin American Symposium of Solid State Physics has taken place, which means the international recognition of the international scientific community to the work of the Cuban investigators in the sphere of Solid State Physics.

INTRODUCCIÓN

Desde el siglo XVIII hay referencias⁽¹⁾ de que en Cuba se enseñaban contenidos de física en determinadas instituciones de carácter religioso (católicas), incluida la Real y Pontificia Universidad de San Gerónimo de La Habana, fundada en 1728. El momento más prominente de esta etapa inicial de la enseñanza de la física en Cuba, se debe al presbítero Félix Varela Morales⁽²⁾ (1787-1853), quien entre 1811 y 1820, enseñó Filosofía en el Real y Conciliar Colegio Seminario de San Carlos y San Ambrosio en La Habana. José A. Saco y José de La Luz Caballero, antiguos alumnos del presbítero habanero, se convirtieron en sus seguidores, pero por diversas razones interrumpieron su magisterio en la física, y el estudio de esta ciencia en Cuba no continuó avanzando, en lo que resta del siglo XIX, con el impulso que le imprimió Varela y las exigencias que el desarrollo científico a

escala mundial requería. Después, como es de esperarse, continuó enseñándose la física en Cuba, extendiéndose esta enseñanza al nivel preuniversitario, pero con un penoso estado de atraso. Un momento importante de renovación se produjo cuando Manuel F. Gran Gilledo⁽³⁾ (1893-1962) ingresa como Profesor a la Universidad de La Habana (1923) creando los laboratorios docentes de física y dándole a la enseñanza de esta asignatura aires de modernidad. Otros profesores de la Universidad de La Habana, con iniciativas muy personales, por los años cincuenta del siglo XX, también contribuyeron al mejoramiento de la enseñanza de la física, entre ellos Marcelo Alonso⁽⁴⁾, probablemente el físico cubano más universalmente conocido, ya que los textos de física de su autoría se emplean en diversos países.

Antes del triunfo de la Revolución en 1959, no se graduaban en Cuba físicos propiamente dichos, sino habían dos carreras Ciencias Físico-Matemáticas y Ciencias Físico-Químicas⁽⁵⁾, las cuales graduaban dos o tres alumnos por año y daban cierta preparación en esta disciplina, pero incompleta, si comparamos con lo que debe ser la formación de un físico. Por otro lado puede asegurarse que para ese entonces, no existían actividades de investigación en el campo de la física en Cuba, inclusive el triunfo revolucionario encuentra a la Universidad de La Habana clausurada desde 1956, por los enfrentamientos que se producían entre los estudiantes y las fuerzas represivas de la tiranía de Batista.

Formación de los investigadores

Un momento importante para la física en Cuba lo constituyó la fundación de la Escuela de Física de la Universidad de La Habana en diciembre de 1961⁽⁶⁾, con carencias en todos los órdenes, en particular de equipamiento de laboratorio y de profesores, en el caso de estos últimos por el éxodo de profesionales que se produce en el país a partir de enero de 1959. Para la solución de este grave problema se acudió a varias alternativas, entre las cuales estuvo el empleo de los alumnos de años superiores para impartir la docencia a los de años inferiores, fundamentalmente como ayudantes de laboratorio, lo que significó para estos estudiantes una posibilidad de superación y en algunos casos le dio la oportunidad de iniciarse como investigadores, al incorporarse informalmente al claustro de profesores de la naciente Escuela de Física. Como otra de las soluciones emergentes tomadas, fueron enviados en 1961 los primeros becarios a formarse en la desaparecida URSS, los que para el año 1966 regresarían ya graduados⁽⁶⁾ y con preparación en la esfera de las investigaciones en diversas temáticas, lograda durante su formación universitaria. También al inicio de los sesenta se recibió la ayuda de profesores extranjeros procedentes de la URSS y otros países: Francia, Argentina, EEUU, Italia, etc. que impartieron docencia en la Escuela de Física y se encargaron de iniciar las primeras investigaciones.

Un elemento importante para solucionar la desactualización en el campo de la física existente en Cuba en los sesenta, lo significó la impresión en el país de prestigiosos textos, fundamentalmente de procedencia occidental, entre ellos: "Física: para estudiantes de ciencias e ingeniería", de Robert Resnick y David Halliday (1966), el "Curso de Física" de la Universidad de Berkeley (el libro de Mecánica apareció en 1969), la "Física del Estado Sólido" de Charles Kittel (1971), "Mecánica Clásica", de H. Goldstein (1968), "Electrodinámica Clásica" de J.D. Jackson (1969) y otros de procedencia soviética

como los de "Mecánica Cuántica" de Blokhintsev (1971) y A. S. Davidov (1969), publicados en idioma inglés. Ya desde antes la Editora Universitaria sacaba a la luz una llamada Colección Escuela de Física de la cual se puede citar al libro "Electrodinámica Macroscópica" (1966) de A.A. Vlasov, Profesor de la Universidad de Moscú; la Cooperativa del Libro de la Federación de Estudiantes de la Universidad de Moscú. La Cooperativa del Libro de la Federación de Estudiantes Universitarios (FEU), también participaba en este esfuerzo y uno de los títulos que imprimía era "Mecánica" de Keith R. Symon (1963).

En los años sesenta, trabajaban en la Escuela de Física, conjuntamente con los profesores cubanos dos experimentados y entusiastas profesores extranjeros, una argentina y un norteamericano que eran solidistas. Teniendo en cuenta estos precedentes y fundamentalmente argumentos de índole económicos, que favorecían a las investigaciones en la Física del Estado Sólido, por su bajo costo en inversiones para el trabajo científico y gran aplicación práctica, se tomó como política científica la determinación, a finales de la década de los sesenta, de dedicarse en la Escuela de Física de la Universidad de La Habana únicamente a las investigaciones relacionadas con la Física del Estado Sólido. Se organizaron entonces las "Escuelas de Verano"⁽⁷⁾, impartidas por físicos franceses y en las que se expusieron cursos de física de los materiales y de dispositivos semiconductores.

La colaboración con instituciones extranjeras también contribuyó a la formación de los investigadores cubanos y allanó el camino para la necesaria obtención de la información científica, de este modo físicos, fundamentalmente de La Universidad de La Habana, mediante acuerdos de colaboración, fueron a entrenarse a Francia (Escuela de Minas de Nancy)⁽⁸⁾, la Universidad de Parma en Italia, la Universidad de Moscú y el Instituto Ioffe de Leningrado (hoy San Petersburgo). También Checoslovaquia y Polonia⁽⁸⁾ participaron en la preparación de físicos cubanos.

Inicios de las investigaciones en Física del Estado Sólido

Como implícitamente se ha reconocido en párrafos anteriores, la Escuela de Física de la Universidad de La Habana, resulta ser la iniciadora de las investigaciones en Física del Estado Sólido en Cuba. Se menciona a la argentina Dina Weissmann y al norteamericano Theodore Veltford, como los primeros en iniciar investigaciones de FES en Cuba, en el primer lustro de los sesenta⁽⁹⁾. En particular Veltford, creó el primer laboratorio de Física del Estado Sólido, como organización y físicamente, además de motivar a la dirección universitaria por las investigaciones en FES, lo que permitiría en el futuro la extensión de los

trabajos. También a través de estos investigadores se adquirió un horno de calentamiento inductivo por radiofrecuencias y potencia de 10kV, de marca Radyne, que aún se puede ver en la Facultad de Física, aunque inactivo. Este horno permitía el crecimiento de materiales semiconductores por el método de Czochralski, y el empleo de la Fusión Zonal. De este forma se va perfilando el propósito de construir dispositivos semiconductores a partir de monocristales crecidos en el país. Todos los investigadores trabajan primero unidos, en el Grupo de Semiconductores y después de tres años de trabajo se produce la división en dos grupos: los que se dedicarán a la física de los dispositivos semi-conductores y los que optan por la física de los cristales semiconductores.

Muchos de los materiales necesarios para las investigaciones y algunos aparatos, llegan al país por la vía de los propios profesores extranjeros y los cubanos que salen al exterior con el propósito de entrenarse. Por otro lado se fomentaba la construcción, en la propia Escuela de Física, de equipos e instrumentos con miras a la investigación científica, para lo que se contaba con un Taller de Mecánica, habilitado con tornos, fresadoras y otras máquinas herramientas, un Taller de Vidriería y otro de Electrónica. Esto fomenta lo que se llamó el grupo de desarrollo, que en conjunción con los demás profesores de la Escuela de Física en estos primeros tiempos lograron construir entre otros equipos:

- Hornos y sus controles de temperatura⁽¹⁰⁾
- Espectrómetro Mössbauer a velocidad constante⁽¹¹⁾
- Magnetómetro vibracional de alta sensibilidad⁽¹²⁾
- Microbalanza de cuarzo⁽¹³⁾
- Bomba difusora⁽¹⁴⁾
- Sistema de pulverización catódica⁽¹⁵⁾

La iniciativa de los investigadores fue tal que se crearon laboratorios completos. En el campo de los dispositivos se hizo primero una pequeña línea de fabricación de diodos y transistores por aleación, con todos los elementos hechos en la Escuela de Física y después se instaló una línea completa de fabricación de dispositivos de silicio con tecnología planar, también con casi todos los componentes construidos en el país.

El horno de calentamiento inductivo, del que ya se ha hablado, abre las posibilidades del trabajo en metales, temática donde ya hay algún personal que se ha preparado en el extranjero. La atención de este grupo de investigadores se dirige a trabajar el sistema Al 4% Cu (precipitación), que es un sistema cómodo de estudiar, por lo que serviría de modelo que ayudará al entrenamiento de los investigadores de

este grupo, en técnicas tales como: microscopia electrónica, difracción de electrones y rayos X, tratamientos térmicos y nuclear. La Dra. María Ivanofna Sajarova⁽¹⁶⁾, de la Cátedra de Física del Estado Sólido de la Universidad Estatal de Moscú fue inspiradora de este trabajo y facilitó las muestras con que se inició el mismo. Por otro lado la aleación que se trabajaba resultaba de cierta importancia perspectiva, por su relación con la producción del duraluminio.

Los investigadores en la **física de los metales** contaban con rudimentarios equipos, tales como: un microscopio electrónico de 50 kV, "heredado" de la Escuela de Medicina, de marca ME-2 Karl Zeiss Jena con lentes electrostáticas, un equipo de Rayos X, Philips Norelco, construido aproximadamente en 1948, con cámara Debye Scherrer y otra Wissemberg⁽⁸⁾, pero poseían el apoyo de otras instituciones como el Centro Nacional de Investigaciones Científicas (fundado en 1965) donde se encontraba un microscopio electrónico más moderno y potente (Hittachi HU-11 a 100 kV) y también un equipo de rayos X (TUR M-17, radiación filtrada de Co K α). En la Escuela de Ingeniería Mecánica de La Universidad de La Habana, podían también efectuar otras pruebas, entre ellas microdureza. Paralelo al trabajo con el Al-4% Cu se trabajaba en la purificación zonal de aluminio donde partiendo de muestras de 99,7 de pureza se llegó a 99,996, haciéndose el análisis espectrográfico en la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Los crecedores de cristales tuvieron como pionero al Lic. Fernando Crespo Sigler⁽⁹⁾. La dirección en esta línea se orientó de inicio, hacia la obtención de monocristales de germanio y posteriormente de silicio. Se caracterizaron los cristales obtenidos, para poder encontrar cuáles eran las variables de crecimiento adecuadas con miras a obtener un resultado, por ejemplo: una cantidad determinada de impurezas en el cristal, con cierto nivel de densidad de dislocaciones y otros parámetros. Las técnicas empleadas para estos propósitos, por la carencia de equipamiento, comenzaron por un estadio muy simple, la orientación se realizó mediante reflectogramas y la determinación de la densidad de dislocaciones por ataque químico⁽¹⁸⁾. Al igual que los investigadores del grupo de metal, los crecedores de cristales, trabajaron en la purificación de sus materiales por el método de la fusión zonal; en el caso del germanio partiendo de lingotes con resistividad entre 10 y 40 Ω cm, llegaron a obtener hasta 44 Ω cm en una purificación⁽¹⁹⁾. Después se pasó a la obtención de materiales con dopamiento controlado (germanio con antimonio) empleando el método del crisol flotante.

Existieron investigadores que se inclinaron hacia la caracterización de los materiales semiconductores, algunos de los cuales inicialmente, eran obtenidos en el extranjero, tal es el caso de los compuestos ternarios $ZnIn_2S_4$ ⁽²⁰⁾ y $Zn_2In_6S_{11}$ ⁽²¹⁾, que se trajeron a Cuba procedentes del laboratorio de materiales especiales de la Universidad de Parma. A estos compuestos se le investigó la cinética fotoconducativa y propiedades ópticas. Por las mediciones que se le efectuaron a estos materiales el equipamiento que se requería ya no era tan simple. Para determinar el índice de refracción fue empleado un espectrómetro UNICAMP SP- 800 ubicado en el CENIC y para las mediciones del espectro de absorción se usó un monocromador SF-4, al cual fue adaptado un fotomultiplicador DARIO 56AVP, como detector. Cristales ternarios de $ZnIn_2S_4$ fueron obtenidos en Cuba a finales del primer lustro de los setenta, por transporte químico, a partir de la fase vapor, con una tecnología construida en la propia Escuela de Física y materiales de pureza electrónica de procedencia extranjera, aunque paralelamente se trabajaba por obtener zinc de alta pureza por el método de la fusión zonal con calentamiento resistivo⁽²²⁾.

El trabajo en la Escuela de Física abarcó también lo relativo a capas delgadas, de esta forma se obtuvieron capas delgadas metálicas por evaporación térmica en alto vacío, y se estudió la oxidación de estas en el caso del aluminio. La obtención de capas epitaxiales desde la fase vapor en alto vacío también fue lograda en la mencionada institución, estas capas fueron de Ge/Ge (111), Ge-Si/Ge(111) y Si/(Ge-Si)/Ge (111)⁽²³⁾.

La construcción de dispositivos electrónicos, o lo que pudiéramos llamar la microelectrónica se desarrolló en forma paralela en la Escuela de Física y la Facultad de Ingeniería, donde después se funda en 1969 el Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CIME), esta duplicidad tuvo sus aspectos positivos, al incentivar el trabajo a través de la competencia y el intercambio, pero en un país con bajos recursos, el fraccionamiento de los mismos limita las posibilidades de lograr éxitos en el trabajo y por tal razón la actividad de la microelectrónica quedó posteriormente radicada en el CIME, con la integración de un buen número de investigadores formados en la Escuela de Física.

El primer diodo cubano construido fue de germanio (por aleación) en el año 1968 y en su construcción participaron Fernando Crespo, Elena Vigil⁽⁹⁾ y Dina Weissman y en realidad su construcción tenía el propósito de desarrollar la tecnología en el país, incluso el germanio empleado fue traído del exterior. Las características voltampéricas del dispositivo obte-

nido daban cuenta de que efectivamente se trataba de un diodo. La comunicación de los resultados se realizó en el marco de un Congreso de Química celebrado en la Universidad de Oriente, fundamentalmente por dos razones: una, que se trataba de un proceso tecnológico y la otra, que los químicos por aquella época estaban más adelantados y organizados que los físicos, téngase en cuenta que es en febrero de 1974 cuando se realiza el Primer Encuentro de Físicos Cubanos y aún no se había fundado la Sociedad Cubana de Física. En particular diodos y transistores de germanio por aleación se obtenían ya en 1969. A esto siguió la obtención de transistores MOS canal p⁽²⁴⁾ y n, circuitos integrados MOS canal p, tetrodos MOS I²L, transistores bipolares npn normales y epitaxiales y transistores MOS con compuerta de polisilicio y celdas solares.

Los resultados de todos estos trabajos aparecieron mayoritariamente en publicaciones nacionales, pues no existía la experiencia ni el hábito de publicar, además que los resultados obtenidos no representaban, muchos de ellos, estrictamente una novedad científica, aunque iban marcando la reducción del gap tecnológico entre Cuba y otros países más adelantados en esta esfera. No obstante los solidistas cubanos a través de su participación en eventos e intercambios científicos con especialistas de varios países del mundo, se van dando a conocer y mereciendo el reconocimiento por el esfuerzo que venían realizando.

IV SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO /24/

Entre el 27 de enero y el 7 de febrero de 1975 se celebra en La Universidad de La Habana el IV Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido (IV SLAFES), auspiciado por la UNESCO, el Centro Latinoamericano de Física (CLAF) y el PNUD. Cuba fue elegida como sede de este evento durante la celebración del III Simposio en México, lo que significó un reconocimiento a los avances experimentados por los físicos cubanos en el campo de la Física del Estado Sólido. Coincidiendo con el evento y con una duración de tres semanas, se efectuó un Curso de Dispositivos Semiconductores (3 al 21 de febrero).

Las temáticas convocadas para el IV SLAFES fueron: Transiciones de fase, Magnetismo y sus aplicaciones y Procesos de aglutinación. En cada una de estas temáticas se brindaron cinco Conferencias de 90 minutos de duración y en igual medida Seminarios. Los Conferencistas y las temáticas tratadas resultaron:

Transformaciones de fase

- “La descomposición espinodal (algunos aspectos teóricos y sus realidades)”
Prof. Alberto Bonfiglioli
Director de la División de Desarrollo de Aluminio Argentino (ALUAR), Argentina.
- “Modelo Ondulatorio de transiciones de fase”.
Prof. A. E. Cook
Universidad de Illinois, EE.UU.

Procesos de aglutinamiento

- “Compuestos III-V, sus propiedades, crecimiento y aplicación a los diodos emisores de luz”.
Prof. A.R. Peaker
Fervantti Hd. Gem Mill, del Reino Unido.
- “Método de Stepanov. Posibilidades y utilización en la obtención de materiales semiconductores”
Prof. I.I. Koptiev
Instituto Físico-Ioffe, de Leningrado, URSS.

Magnetismo y sus aplicaciones

- “Electrónica de metales de transición”
Prof. J.M. Ziman
Laboratorio de Física de la Universidad de Bristol, Inglaterra.
- “Magnetismo en los Metales”
Prof. P. Lederer
Facultad de Ciencias de la Universidad de París.
- “Ferromagnetismo, ferrimagnetismo y antiferromagnetismo en metales de Transición”
Prof. G.S. Krinchik
Universidad Estatal de Moscú.

Los trabajos presentados al IV SLAFES fueron en total 55 y de ellos, 26 correspondieron a físicos cubanos. Por los títulos de los trabajos se podrá tener una idea de las temáticas en que se trabajaba en 1975 y el grado de desarrollo alcanzado:

Transiciones de fase

- Cambio de la estructura policristalina de un acero estructural con el modo y grado de formación después de haber recibido distintos tratamientos térmicos.
- Puesta a punto de aceros al manganeso de alto límite elástico.
- Características de aceros inoxidables industriales. Influencia del tratamiento térmico sobre la fase precipitada.
- Estudio de la solubilidad de algunos aceros cubanos de construcción.
- Sobre el estudio actual de los métodos de análisis rogentnográficos.

- Cristalización e identificación por difracción de Rayos X de inclusiones de óxido extraídos de aceros al carbono.
- Estudio de la colaencia de O en aluminio 4% cobre.
- Análisis de Rayos X y macrodureza en una aleación de Al4% Cu.
- Estudio de dos aceros suecos de baja aleación y alta resistencia.
- Influencia del laminado sobre el revenido de aleaciones Hierro-Cromo-Manganeso-Silicio y Hierro-Manganeso-Titanio-Silicio.

Magnetismo

- Solución de la ecuación de masa efectiva para el excitón de Wannier en presencia de un campo eléctrico.
- Propiedades ópticas del AsGa.
- Teoría de espectros Mössbauer de aleaciones binarias mediante el modelo de la red tridimensional de Ising.
- RPE del ión Mn^{2+} en el compuesto ternario $ZnIn_2S_4$.

Procesos de Aglutinamiento

- Crecimiento de Cristales de $ZnIn_2S_4$.
- Crecimiento de Ge a partir del fundido.
- Fusión Zonal con Gradiente de temperatura.
- Crecimiento de capas epitaxiales de Ge a partir de la epitaxia líquida.
- Cristalización de Ge a partir de la fase gaseosa.

Dispositivos Semiconductores

- Interfaz Si-SiO₂.
- El tetrodo MOS.
- Movilidad en los canales de los T MOS.
- Efecto memoria en los compuestos ternarios.
- Tecnología para LSI.
- Construcción de equipos electrónicos.

Ya para el año 1975 se hacían investigaciones en FES en la Universidad de La Habana y en otros centros, pero lidereaba esta temática la Escuela de Física, donde estaban organizados los investigadores en los siguientes grupos de trabajo⁽²⁶⁾:

- Física de los dispositivos semiconductores.
- Física de los cristales semiconductores.
- Física de los semiconductores.
- Física teórica del estado sólido.
- Magnetismo.
- Física de los metales.
- Grupo de desarrollo.

En forma implícita o explícita se ha hecho mención al trabajo de los diferentes grupos, pero quizás no halla quedado lo suficientemente subrayado lo relativo

al trabajo en la Física Teórica del Estado Sólido. Ya en lo antes expuesto se puede apreciar que durante el IVSLAFES aparecen trabajos de este corte, pudiéndose mencionar otros como el relativo al estudio de la dinámica de un electrón en un sistema de fonones⁽²⁷⁾.

En el IV SLAFES, de otras instancias ajenas a la UH, se presentaron cinco trabajos sobre transiciones de fase y uno sobre dispositivos semiconductores, los demás fueron presentados por los investigadores vinculados a los diferentes grupos de trabajo que funcionaban en la Escuela de Física. También desde el punto de vista organizativo dentro de los grupos existían proyectos, con sus correspondientes líderes o jefes de proyectos, al igual que un experimentado profesional fungía como jefe de cada uno de los grupos.

La asistencia de destacados Conferencistas al IV SLAFES y 82 solidistas de México, Argentina, Venezuela, Ecuador, Brasil, Colombia, Costa Rica, Perú y Chile, da una medida del reconocimiento al modesto desarrollo alcanzado por Cuba en un breve periodo de aproximadamente 15 años.

EPÍLOGO

REFERENCIAS

- (1) DANIUSHENKOV, V. y N. CORONA (1991): "Historia de la Física", La Habana, Pueblo y Educación.
- (2) ALAMINO, D. (1997): "El Magisterio de Félix Varela en la Física", **Palabra Nueva**, Arquidiócesis de La Habana, Año V, No. 55, febrero.
- (3) LE ROY, F. (1979): "Profesores de Física de La Universidad de La Habana desde su secularización en 1842 hasta Manuel F. Gran", Academia de Ciencias de Cuba, Centro de Estudios de Historia y Organización de la Ciencia "Carlos J. Finlay", La Habana, marzo.
- (4) PAGE, L. y M. ALONSO (1945): "Tratado de Física Teórica", Cultural S.A., La Habana.
- (5) Comité Local del IV Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido, "La Física en Cuba", Impresora Universitaria "André Voisin", Diciembre de 1974.
- (6) BARACCA, A. (2000): "El despegue de la Física en Cuba desde el triunfo de la Revolución", **Libro de resúmenes del II Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria**, La Habana, 24-28 de enero.
- (7) FUENTES, J. (2001): **Entrevista**, 23 de abril.
- (8) MARTÍNEZ, F. y J.R. QUIÑÓNEZ (2001): **Entrevista**, abril.
- (9) VIGIL, E. (2001): **Entrevista**, 3 de julio.

Los primeros pasos en la FES que se han relatado dan una idea del amplio esfuerzo realizado en el transcurso de unos pocos años por un colectivo, no solo de profesores, sino de magníficos técnicos, formados en la Escuela de Física de Universidad de La Habana, que contaron con el apoyo directo y constante del Rector Dr. José Miyar Barruecos. Un resultado importante de esta etapa es que la experiencia alcanzada permitió fundamentar la creación de una industria nacional de semiconductores de gran importancia relativa para el país y aportar para esa industria el personal especializado.

AGRADECIMIENTOS

A los fundadores de las investigaciones de Física del Estado Sólido en Cuba y en especial a aquellos cuyos nombres no han sido referenciados involuntariamente por el autor.

A todos los que han contribuido con la facilitación de información para la realización de este trabajo, así como a aquellos que a partir de ahora hagan llegar sus testimonios u opiniones para enriquecerlo o enmendar cualquier imprecisión histórica.

Al Dr. Saldaña por su invitación a presentar este trabajo durante el XXI Congreso Internacional de Historia de la Ciencia en México 2001.

- (10) CERDEIRA, A. y colaboradores (1972): "Construcción de hornos y de sus controles de temperatura para el desarrollo de la tecnología planar", **Ciencias**, Serie 2, **Física**, No. 4, marzo, Centro de Información Científica y Técnica de la Universidad de La Habana, 3-19.
- (11) CIMINO, L. (1974): "Construcción de un espectrómetro Mössbauer a velocidad constante", **Ciencias**, Serie 2, **Física**, No.29, septiembre, Centro de Información Científica y Técnica de la Universidad de La Habana, 23-32.
- (12) CAMPA DE LA, A. y M. del C. PIÑERA (1974): "Construcción de un Magnetómetro Vibracional de alta sensibilidad", **Ciencias**, Serie 2, No.29, septiembre, Centro de Información Científica y Técnica de la Universidad de La Habana, 33-44.
- (13) DURAND, E. y colaboradores (1974): "Diseño y Construcción de una Microbalanza de Cuarzo", **Ciencias**, Serie 2, No. 29, septiembre, Centro de Información Científica y Técnica de la Universidad de La Habana, 3-8.
- (14) DURAND, E. y N. LÓPEZ (1974): "Diseño y Construcción de una bomba de Difusión para sistema de alto vacío", **Ciencias**, Serie 2, No. 29, septiembre, Centro de Información Científica y Técnica de la Universidad de La Habana, 11-19.
- (15) MARTELL, A. y E. PURÓN (1974): "Sistema de pulverización catódica para la obtención de capas delgadas semiconductoras", **Ciencias**, Serie 2, No. 29, septiembre, Centro de Información Científica y Técnica de la Universidad de La Habana, 57-67.
- (16) COLECTIVO DEL GRUPO DE METALES (1972): "Estudio de la Precipitación en Al-4% Cu", **Ciencias**, Serie 2, **Física**, No. 11, septiembre, Centro de Información Científica y Técnica de la Universidad de La Habana, 3-18.
- (17) ARMAS, F. de y F. MARTÍNEZ (1972): "Purificación y Análisis de Aluminio", **Ciencias**, Serie 2, **Física**, No. 12, octubre, Centro de Información Científica y Técnica, Universidad de La Habana, 3-4.
- (18) CRESPO, F. y colaboradores (1972): "Orientación y Medición de Dislocaciones en Monocristales Semiconductores" **Ciencias**, Serie 2 **Física**, No.1, enero, Centro de Información Científica y Técnica, Universidad de La Habana.
- (19) GONZÁLEZ, F. y L. FALCÓN (1973): "Crecimiento de Monocristales de Germanio con dopamiento controlado", **Ciencias**, Serie 2, **Física**, No. 15, enero, Centro de Información Científica y Técnica de la Universidad de La Habana, 3-12.
- (20) HERNÁNDEZ, L. y colaboradores (1972): "Estudio de la cinética fotoconductiva en compuestos ternarios", **Ciencias**, Serie 2, **Física**, No. 7, mayo, Centro de Información Científica y Técnica de la Universidad de La Habana, 3-12.
- (21) VASCO, J. E. y colaboradores (1972): "Propiedades ópticas de compuestos ternarios", **Ciencias**, Serie 2, **Física**, No. 8, junio, Centro de Información Científica y Técnica, Universidad de La Habana, 3-14.
- (22) TESTIMONIO DEL AUTOR.
- (23) GONZÁLEZ QUEVEDO, F. y colaboradores (1973): "Obtención de capas epitaxiales de Ge/Ge (111), (Ge-Si)/Ge (111) y Si/(Ge-Si)/Ge (111)", **Ciencias**, Serie 2, **Física**, No.17, marzo, Centro de Información Científica y Técnica de la Universidad de La Habana, 3-14.
- (24) CERDEIRA, A. y colaboradores (1973): "Realización de transistores MOS canal p", **Ciencias**, Serie 2, **Física**, No.18, abril, Centro de Información Científica y Técnica de la Universidad de La Habana, 3-17.
- (25) Comité Local del V Simposio Latinoamericano de Física del Estado Sólido, "Memorias", La Habana, 1975.
- (26) Boletín de la Comisión Cubana de la UNESCO, No. 57, año 14, Mayo- Junio 1975, p. 25.

(27) DIOS, MELQUIADES de (1974): "Dinámica de un electrón en un sistema de fonones", **Ciencias**, Serie 2, **Física**, No. 25, junio, Centro de Información Científica y Técnica de la Universidad de La Habana, 3-12.