

# UNIVERSIDAD DE SONORA

CENTRO DE INVESTIGACION EN FISICA DE LA  
UNIVERSIDAD DE SONORA



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARÁ MI GRANDEZA

## CELDA FOTOVOLTAICAS MEJORADAS CON EMISSION TERMOIÓNICA BASADAS EN NANOESTRUCTURAS DE GaN

**Dr. Rafael García Gutiérrez**

**Profesor - Investigador**

## Resumen

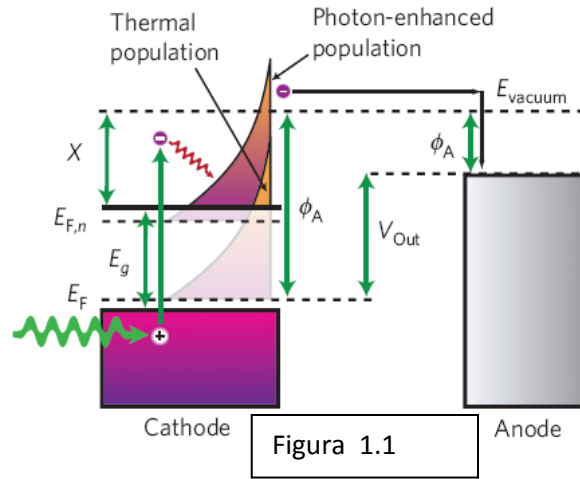
PETE (Photon Enhanced Thermionic Emission) es una novedosa propuesta para la transformación de energía solar, la cual comprende una combinación de procesos cuánticos y térmicos para generar electricidad. A diferencia de las celdas solares convencionales las cuales pierden su eficiencia a temperaturas elevadas, los dispositivos PETE están diseñados para operar en altas temperaturas típicas en los dispositivos solares térmicos. El funcionamiento de los PETE se basa en aprovechar la energía de los fotones y el calor proveniente del sol para convertirlos en energía eléctrica.

## Introducción

La tecnología para captación solar usualmente toma una de las siguientes dos formas: el *cuántico*, como en celdas fotovoltaicas (PV), o el *térmico* en donde se utiliza la radiación solar como fuente de calor.

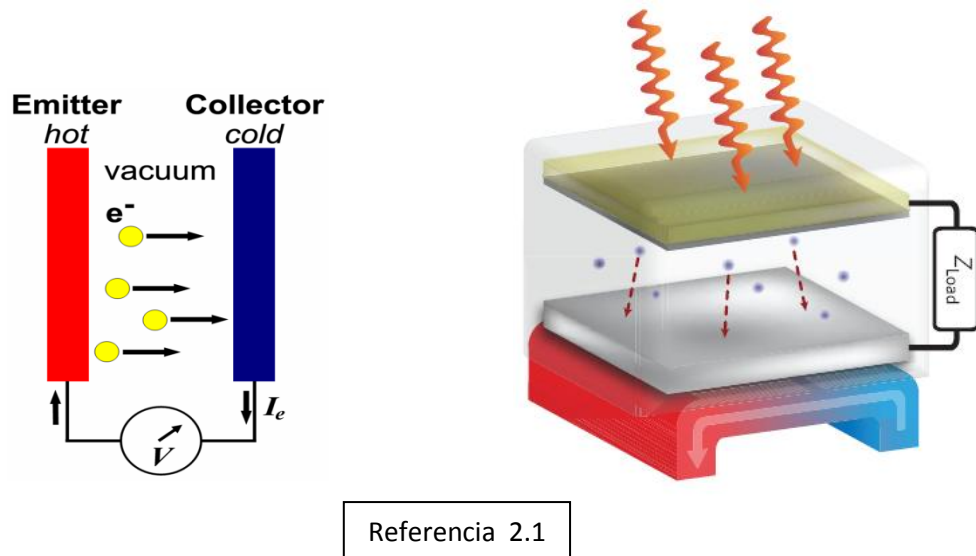
Los procesos cuánticos impulsan altas eficiencias teóricas, pero en la práctica se limitan a pequeños espectros de energía; en cambio, en los procesos térmicos la eficiencia es baja, pero existe la ventaja de usar energía del espectro solar completo. Una combinación simple de estos dos procesos fracasa debido a que las celdas PV pierden su eficiencia rápidamente a temperaturas elevadas, mientras que a bajas temperaturas las celdas térmicas pierden eficiencia.

PETE es un método de captación de energía solar que utiliza la naturaleza cuántica de los fotones solares en conjunto con energía térmica para generar electricidad a temperaturas compatibles con maquinas térmicas solares. El método consiste en utilizar un cátodo semiconductor separado de un ánodo por una brecha de vacío [Figura 1.1]. Los fotones incidentes excitan los electrones en la banda de conducción del cátodo. Emiten al vacío y son captados por el ánodo generando un voltaje. La separación física entre el ánodo y el cátodo permite una gran diferencia de temperatura, reduciendo la corriente inversa generada térmicamente la cual limita a las celdas PV a altas temperaturas.



Estos dispositivos son candidatos ideales para aplicaciones solares de altas concentraciones debido a que pueden operar a elevadas temperaturas de una forma eficiente.

Hay propuestas de usar estos dispositivos en conjunto con ciclos térmicos en donde se podrían esperar eficiencias modestas de un 20% del dispositivo PETE, y en conjunto con un motor Stirling de un 30% de eficiencia. Se podría impulsar una eficiencia neta del sistema por encima del 44% [Figura 2.1].



## Objetivos

- Demostrar el principio PETE en base a Nano columnas de GaN con punta[Figura 3.1].

Para esto será necesario desarrollar un equipo capaz de controlar variables de crecimiento de una forma precisa, teniendo así un mejor control en el crecimiento y elevando de la misma manera la repetitividad.

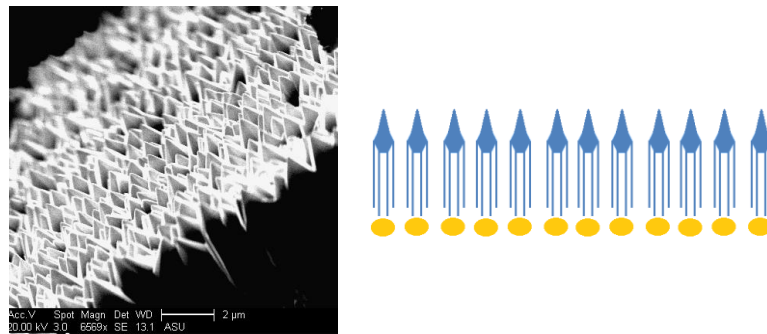


Figura 3.1

- Construir un reactor MOCVD con un sistema de control sobre las variables de más peso.
- Por consiguiente uno de los objetivos es desarrollar fotocátodos de alta eficiencia que sean estables en altas temperaturas.

## Metas

Para poder desarrollar un reactor MOCVD con un sistema de control como el que se menciona, es necesario diseñar varios componentes a la medida. La idea de este diseño es ubicar el reactor en una categoría entre uno de crecimiento experimental y uno de producción industrial, debido a que será capaz de producir en serie algún material una vez que se conozcan las variables óptimas de crecimiento.

- Fabricar una compuerta de introducción de fácil acceso.
- Fabricar un sistema de fijación para múltiples muestras en el interior del reactor y un sistema de movimiento para poder tener control de la posición de las mismas al momento de que el crecimiento este llevándose a cabo.
- Fabricar o implementar un sistema de control de flujo de múltiples gases (precursores, gases de reacción, inertes etc.)
- Implementar o fabricar un control de temperatura.

Una vez teniendo un reactor con las características mencionadas el reto será desarrollar un fotocátodo que tenga las características para poderlo implementar en un dispositivo PETE.

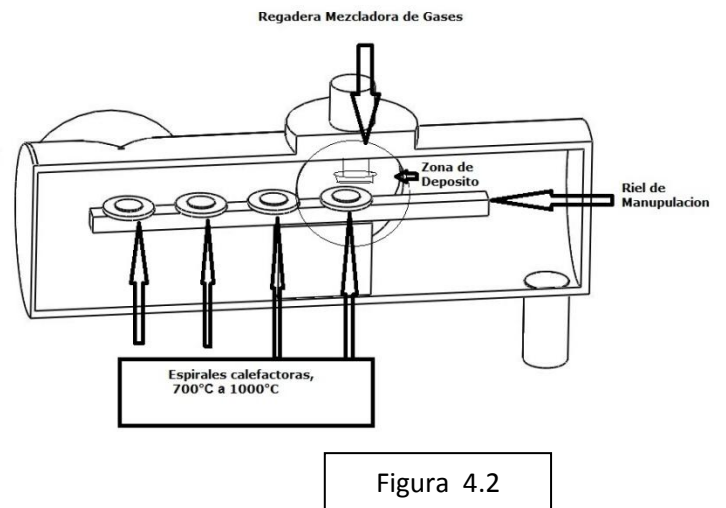
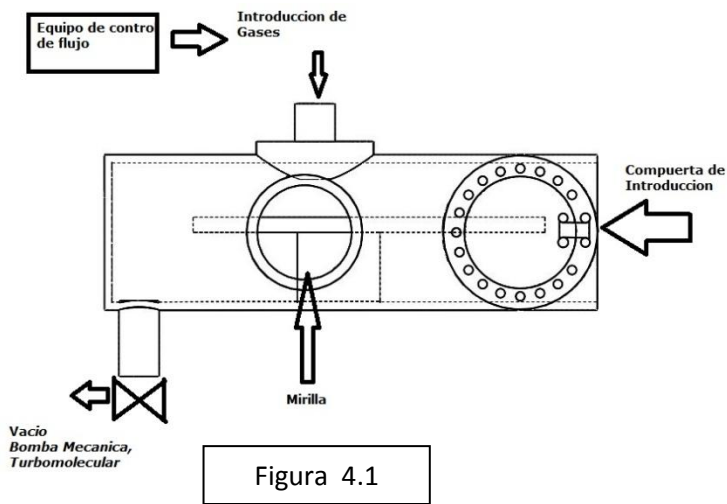
- Se tendrá que realizar caracterización y análisis de los materiales lo cual nos ayudará a conocer cuáles son los que contienen las mejores características para implementarlos en un dispositivo de captación de energía, y a su vez, las variables de crecimiento óptimo para poder reproducirlo.
- Elaborar un medio o proceso de prueba inicial de estos materiales donde se sometan a las condiciones normales que tendría el dispositivo, el cual operaría como medio de captación de energía.

## Metodología Experimental

Anteriormente se han creado modelos teóricos de Dispositivos PETE en los cuales se utilizan películas delgadas de GaN.

En la práctica, estos materiales arrojaron eficiencias muy por debajo de las eficiencias teóricas esperadas, por lo cual aun se siguen investigando materiales utilizables en estas condiciones para el funcionamiento óptimo de un dispositivo de este tipo.

Los crecimientos de nanocolumnas de GaN serán realizadas en sustratos de silicio, cuarzo y zafiro. Se utilizará trimetil galio como precursor metal orgánico. El crecimiento de las películas se llevará a cabo en un reactor MOCVD horizontal de acero inoxidable, tendrá un porta muestras múltiple fabricado de alúmina y acero inoxidable que correrá por un riel interno con el fin de poder manipular las muestras antes durante y después del crecimiento [Figura 4.1 y 4.2].



Los sustratos serán obleas de 50mm de diámetro y 25mm de diámetro que serán calentadas por medio de una resistencia calefactora espiral de tungsteno que se encuentra fija en la zona de reacción. Los flujos de nitrógeno, amoníaco y trimetilgalio burbujeado con nitrógeno, se

controlarán por medio de controles electrónicos de flujo másico. Estos gases se introducen por medio de una regadera a la zona de reacción de manera vertical y son extraídos por medio de un sistema de vacío el cual se regula a través de una válvula de mariposa para controlar la presión interna del reactor.

Una vez que se introducen las muestras al reactor, se purga con nitrógeno durante 30 minutos. Después se enciende el calefactor y una vez alcanzada la temperatura de depósito (700-1000 °C) se introduce a la cámara de reacción trimetil galio burbujeado con nitrógeno y amoniaco de alta pureza como agente nitrurante entre 15 min y 1 hora.

Uno de los principios que se quiere demostrar es la utilización de estos materiales nano estructurados para la transformación de energía solar en energía eléctrica por una combinación de emisión termoiónica y efecto fotoeléctrico.

La emisión termoiónica esta teorizada por la ley de Richardson-Dushman que establece que la densidad de corriente emitida  $J [\frac{A}{m^2}]$  está relacionada con la temperatura T por la ecuación:

$$J = AT^2 e^{\frac{-W}{KT}} \quad \text{donde} \quad A = \frac{4\pi m K^2 e}{h^3}$$

Esta propuesta no solo tendrá la novedad de utilizar materiales nano estructurados en vez de películas, también se propone utilizar estos materiales con una geometría en forma de puntas o antenas[Figura 3.1 y Figura 5.1], en donde se pretende utilizar el efecto de campo.

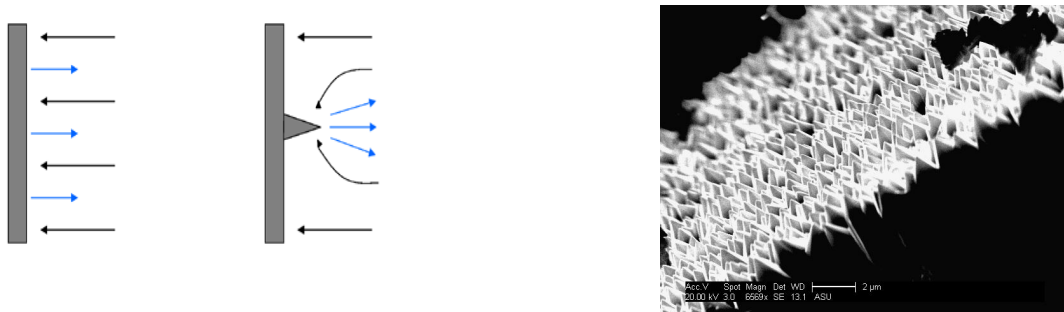
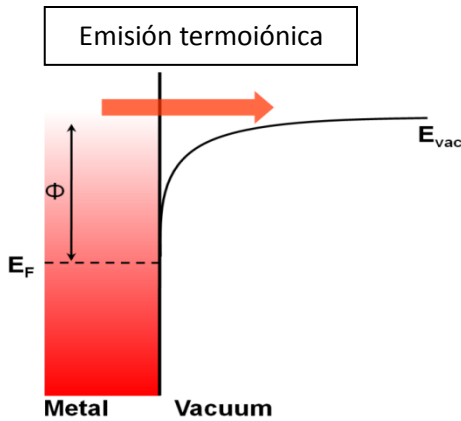


Figura 5.1

Debido a la geometría de la estructura, la densidad de campo que se tendría en las puntas ayudaría a expulsar electrones y acelerarlos fuera del material.

La concentración del campo eléctrico en un emisor estaría dada por la ecuación:

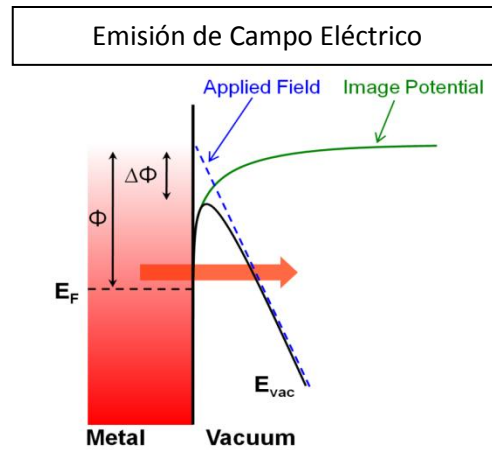
$$F_{\text{local}} = \beta \cdot F_{\text{applied}}$$



### Ecuación de Richardson

$$j_{\text{TE}}(T) = \frac{4\pi m_e e}{h^3} (kT)^2 \exp\left(-\frac{\Phi}{kT}\right)$$

Aplicación de Energía Térmica



### Ecuación de Fowler-Nordheim

$$j_{\text{FE}}(E) = \frac{C_1 E^2}{\Phi} \exp\left(-\frac{C_2 \Phi^{3/2}}{E}\right)$$

Aplicación de Campo Eléctrico

Las muestras obtenidas serán estudiadas morfológica y estructuralmente, utilizando técnicas de estado del arte como son: microscopia electrónica de barrido, microscopia electrónica de transmisión y difracción de rayos X. Para estudiar las propiedades optoelectrónicas del material depositado se emplearán las técnicas de fotoluminiscencia, catodoluminiscencia, y electroluminiscencia; además de técnicas para analizar las propiedades electrónicas tales como Efecto Hall y curvas I-V.



## **Bibliografía**

Jenny Nelson (2003), THE PHYSICS OF SOLAR CELLS (*Imperial College, UK*)

ELEMENTARY SOLID STATE PHYSICS - M. Ali Omar

SOLID STATE ELECTRONIC DEVICES - Ben G. Streetman, Sanjay Banerjee

THE MOCVD CHALLENGE - Manijeh Razeghi

EPITAXY OF NANOSTRUCTURES - Vitaly A. Shchukin