

## **Seminarios del Doctorado en Ciencias Exactas e Ingeniería 2023**

**Título de Tesis:** Formulación de tintas para la impresión de dispositivos de juntura pn y análisis de sus propiedades ópticas y fotoeléctricas

**Tesista:** Claudio Lauxmann

**Director:** Dr. Oscar Alonso Marín Ramírez

**Codirector:** Dr. David Mario Comedi

### **Resumen**

El trabajo se enfoca en el estudio de materiales que tengan la propiedad de ser activos eléctrica y ópticamente, para poder luego ser utilizados en la fabricación de tintas para impresión de dispositivos electrónicos. De esta manera, se propone la obtención de dispersiones coloidales basadas principalmente en nanopartículas (NP) y nanohilos (NH) de óxidos y calcogenuros semiconductores, principalmente ZnO, NiO, CuO, ZnS y SnS. La elección de estos materiales, se realiza teniendo en cuenta sus propiedades ópticas y eléctricas. Además, sus propiedades dependen fuertemente de su estequiometría, por lo cual éstas pueden ser controladas desde la fabricación, permitiendo así el diseño de materiales para aplicaciones específicas. De esta manera, se pretende diseñar materiales con características físicas optimizadas, que puedan a futuro usarse para fabricar dispositivos con aplicaciones en sensores de luz, celdas fotovoltaicas y fotocatalisis.

La formulación de las tintas estará formada por cuatro componentes. El material activo que serán NP suspendidas para formar tanto las películas conductoras, como las semiconductoras de tipo p y de tipo n: ZnO, ZnO:Ni, ZnO:Cu y AZO. Un aglutinante que se usará para mejorar la dispersión (evitar la aglomeración de las NP) y la adherencia al sustrato: etilenglicol o polietilenglicol. Un solvente de secado rápido: isopropanol (IP). Y un aditivo que permitirá mejorar las propiedades reológicas como densidad y viscosidad.

En primera instancia, usando el método de síntesis solvotermal, se fabricaron NP de ZnO y se diluyeron en IP al 3,0 %, 4,2% y 7,0 %. El ensayo de fotoluminiscencia mostró un pico a 380 nm o 3,26 eV que se corresponde con el ZnO. El ensayo Raman mostró la respuesta propia de la estructura Wurzita del ZnO. Sin embargo, en el ensayo por microscopio electrónico de barrido (MEB o SEM) se vio que las NP tendían a aglomerarse. Cada preparación lleva un tiempo aproximado de 20 h. Debido a que solamente se cuenta con cinco autoclaves de 25 ml cada una, la cantidad de producto obtenida en cada preparación es muy pequeña.

Se decidió avanzar con otro método de síntesis que sea más eficiente y que permita obtener mayor cantidad de producto final por cada preparación. Con el método de coprecipitación se obtuvieron NP de ZnO, ZnO:Al (AZO) al 1%, AZO al 2 % y AZO al 3%. Las pruebas de fotoluminiscencia muestran picos a 380 nm o 3,26 eV propios del ZnO. Están pendiente los ensayos Raman y SEM para estas NP.

En paralelo a la formulación de las tintas, se avanzó con la fabricación de una impresora que permita aplicar las tintas con diseños específicos sobre diferentes sustratos. Como aplicador se

usan jeringas comerciales, de las usadas para la inyección de insulina, las cuales tienen una capacidad de 1 ml y una aguja 29G (0,33 mm de diámetro). Para el posicionamiento y recorrido de la jeringa, se construyó una impresora aprovechando el reciclado de viejas lectoras de CD/DVD. Para la extrusión del producto se usa un dispositivo de desplazamiento del cabezal de una disquetera de discos flexibles de 3,5". La estructura principal de la impresora está hecha con las carcasas de las propias lectoras. Se las ensambló en forma de "L", de esta manera se logra soportar los diferentes mecanismos de movimiento en las tres dimensiones del espacio. Para el movimiento XY, se usaron lectoras de CD/DVD las cuales cuentan con un motor paso a paso que mueven un carro móvil a través de un husillo. Estos dispositivos tienen un avance de 3 mm por vuelta y 20 pasos por vuelta (cada paso consiste en la aplicación de una señal eléctrica a cada par de bobinas del motor paso a paso), esto da una resolución de avance de 0,15 mm/paso. Para el desplazamiento del eje Z también se usó el sistema de desplazamiento de una lectora de CD/DVD, la función de este eje es el de acercar la aguja al sustrato, es decir, controla la altura desde la cual viaja la gota desde la salida de la aguja hasta el sustrato. Para el mecanismo de extrusión, es decir, el accionamiento de la jeringa, se usa el dispositivo de desplazamiento de una lectora de discos flexibles de 3,5", entre las ventajas de este dispositivo con respecto a una lectora de CD/DVD se encuentran: menor tamaño del conjunto, menor peso, mecanismo de desplazamiento más pequeño (el motor con el husillo ocupan sólo el 30% del tamaño del dispositivo, esto deja un espacio suficiente para soportar la jeringa) y el apoyo original del cabezal lector permite ubicar una planchuela en forma de "L" con uno de los laterales lo suficientemente ancho, imitando la función del dedo pulgar, como medio de empuje de la jeringa. Como controlador de la impresora se usó un Arduino Uno con una placa de expansión Shield V3 la cual permite manejar hasta 4 motores paso a paso con sus respectivos interruptores finales de carrera.

Luego de todos los ensayos y calibraciones de los motores paso a paso. Se realizó un diseño de un dibujo tipo onda cuadrada con el software Inkscape, tanto el grosor de las líneas como la separación de las mismas fue de sólo 0,5 mm. A través del software online Tinkercad se lo transformó en una imagen 3d. Finalmente se usó el software Slic3r, el cual permite seccionar el dibujo en capas y crear el archivo en formato .gcode que es el que entienden las impresoras. Como interlocutor entre la PC y la impresora se usó el software Universal Gcode Sender (UGS).

Se hizo una prueba preliminar usando tinta de una impresora de chorro de tinta. Si bien los desplazamientos de los ejes fueron los adecuados a los comandos del controlador, el dibujo final obtenido se asemeja más a una mancha que al dibujo requerido. Esto se va a corregir en el futuro, seleccionando correctamente las propiedades reológicas de la tinta a usar.