

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA



SÍNTESIS DE GRAFENO Y SUPERCONDENSADORES
BASADOS EN GRAFENO

CARLOS JAVIER EUGENIO HERRERA

Profesor Guía: DINESH PRATAP SINGH

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos
para obtener el título profesional de Ingeniero Físico.

Santiago - Chile

2016

© 2016, Carlos Eugenio

**Algunos derechos reservados. Esta obra está bajo una Licencia
Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartir Igual 3.0.**

Sus condiciones de uso pueden ser revisadas en:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/cl/>.



Dedicatoria

Agradecimientos

Tabla de contenidos

Resumen	XIII
1. Nanonomateriales	3
1.1. Nanomateriales	3
1.2. Síntesis	4
1.3. Caracterización	5
1.4. Aplicaciones	5
2. Grafeno	7
3. Supercondensadores	9
3.1. El condensador ideal	10
3.2. El condensador real	10
3.2.1. Breakdown voltage	11
3.2.2. Circuito equivalente	12
Resistencia en serie equivalente	12
3.3. ¿Qué hace a un supercondensador super?	12
3.3.1. Doble capa electrostática de Helmholtz	12
3.3.2. Pseudocapacitancia	12

4. Título Capítulo 4	15
5. Resultados, conclusiones y recomendaciones	17
Anexo	19
Índice Analítico	21

Índice de tablas

Índice de Ilustraciones

3.1. Carga y descarga de un condensador ideal a corriente constante.	11
3.2. Carga y d.	13

Resumen

Introducción

Capítulo 1

Nanonomateriales

"There's Plenty of Room at the Bottom."

Richard Feymann

1.1. Nanomateriales

En un nanomaterial al menos una de sus dimensiones está en la escala nanométrica. En una mejor definición, hablamos de nanomateriales cuándo alguna de sus dimensiones es menor a alguna de sus longitudes características, dando lugar a la aparición de propiedades diferentes a las de su contraparte macrométrica (bulk material). Los nanomateriales

pueden clasificarse por el número de dimensiones en escala nanométrica, con una dimensión constreñida a nanoescala hablamos de materiales 2-dimensionales, pues dos dimensiones están en la macroescala, análogamente, con dos a nanoescala tenemos un material 1-dimensional, y con tres dimensiones a nanoescala, es un material 0-dimensional. Ejemplos de nanomateriales: quantum dots, nanopartículas (0-dimensional); nanotubos, nanohilos, nanovarillas (1-dimensional); grafeno (2-dimensional).

1.2. Síntesis

En un nanomaterial al menos una de sus dimensiones está en la escala nanométrica. En una mejor definición, hablamos de nanomateriales cuándo alguna de sus dimensiones es menor a alguna de sus longitudes características, dando lugar a la aparición de propiedades diferentes a las de su contraparte macrométrica (bulk material). Los nanomateriales pueden clasificarse por el número de dimensiones en escala nanométrica, con una dimensión constreñida a nanoescala hablamos de materiales 2-dimensionales, pues dos dimensiones están en la macroescala, análogamente, con dos a nanoescala tenemos un material 1-dimensional, y con tres dimensiones a nanoescala, es un material 0-dimensional. Ejemplos de nanomateriales: quantum dots, nanopartículas (0-dimensional); nanotubos, nanohilos, nanovarillas (1-dimensional); grafeno (2-dimensional).

1.3. Caracterización

1.4. Aplicaciones

Capítulo 2

Grafeno

“What is important about graphene is the new physics it has delivered.”

Andre Geim

En un nanomaterial al menos una de sus dimensiones está en la escala nanométrica. En una mejor definición, hablamos de nanomateriales cuándo alguna de sus dimensiones es menor a alguna de sus longitudes características, dando lugar a la aparición de propiedades diferentes a las de su contraparte macrométrica (bulk material). Los nanomateriales pueden clasificarse por el número de dimensiones en escala nanométrica, con una dimensión constreñida a nanoescala hablamos de materia-

les 2-dimensionales, pues dos dimensiones están en la macroescala, análogamente, con dos dimensiones a nanoescala tenemos un material 1-dimensional, y con tres dimensiones a nanoescala, es un material 0-dimensional. Ejemplos de nanomateriales: quantum dots, nanopartículas (0-dimensional); nanotubos, nanohilos, nanovarillas (1-dimensional); grafeno (2-dimensional).

Capítulo 3

Supercondensadores

"The force is strong with this one."

Darth Vader

El almacenar energía eléctrica es uno de los mayores problemas a la hora de diseñar sistemas electrónicos tanto móviles como estacionarios, los requerimientos varían de acuerdo a las necesidades de cada uno, en general es un *trade-off* entre densidad de energía (cuánta energía se puede almacenar) y densidad de potencia (que tan rápido puede ser entregada la energía almacenada). Las celdas de combustible (*Fuel Cells*), entregan la mayor densidad de energía, pero son complicadas, mientras que las baterías poseen mayor densidad de potencia, pierden capacidad

con los ciclos de carga y descarga. Los supercondensadores van un paso más allá, aumentado la densidad de potencia y aportando mayor vida útil.

3.1. El condensador ideal

Generalmente un condensador se modela como un par de placas paralelas separadas por un dieléctrico, es definido por su capacitancia, que refleja la capacidad de almacenar energía. Del modelo de placas paralelas se desprende la definición de capacitancia C como la razón entre la magnitud de carga en cada placa Q y el voltaje entre los terminales V :

$$C = \frac{Q}{V} \quad (3.1)$$

Para fines prácticos, el condensador ideal como componente electrónico es modelado por la ecuación que relaciona la corriente con el voltaje, considerando que $i = dq/dt$:

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt} \quad (3.2)$$

3.2. El condensador real

Un condensador ideal almacenaría energía al cargarse y la entregaría al descargarse sin ninguna disipación, es decir, su eficiencia sería del 100 %, podría soportar cualquier voltaje aplicado o cargarse y descargarse por una corriente cuan grande se desee. En realidad, los condensadores sí

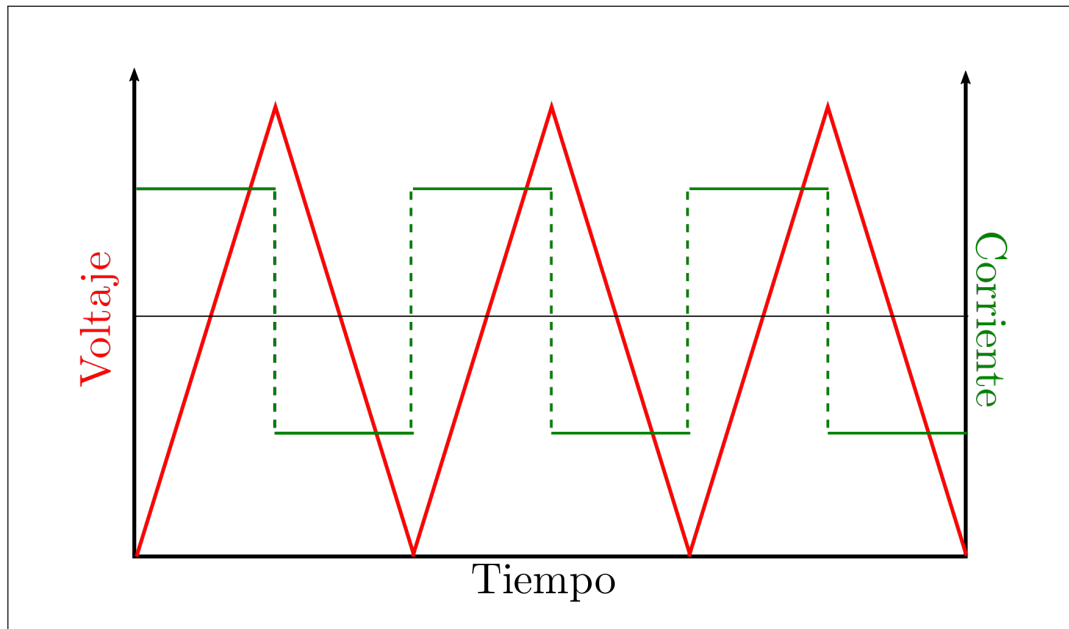


Figura 3.1: Carga y descarga de un condensador ideal a corriente constante.

disipan energía, poseen voltajes de operación y corrientes máximas de carga y descarga. Todo esto depende de la naturaleza de su construcción y por su puesto, del propósito que fue diseñado.

3.2.1. Breakdown voltage

Los condensadores convencionales contruidos con materiales dieléctricos están sujetos a un voltaje máximo de operación determinado por la tensión de ruptura (*Breakdown voltage*), voltaje al cual se pierden las propiedades dieléctricas del material ocasionando cortocircuito al interior del dispositivo, determinado por la fuerza dieléctrica del material y el espesor de este. En los condensadores electrolíticos la tensión de ruptura es de-

terminada por otros mecanismos[1, 2] que se han mantenido en hipótesis. En lo que respecta a los supercondensadores, el voltaje máximo de carga depende fundamentalmente de electrolito usado, principalmente por las reacciones que ocurren a ciertos potenciales, este tema será abordado con más detalle en la sección correspondiente.

3.2.2. Circuito equivalente

El comportamiento de los condensadores reales son modeladas por un circuito equivalente, donde se introducen componentes que representan el las imperfecciones del funcionamiento del condensador real.

Circuito equivalente[3]

Resistencia en serie equivalente

Las imperfecciones en la construcción de condensadores, y la naturaleza de los materiales utilizados (e.g. electrodos de resistencia no cero),

3.3. ¿Qué hace a un supercondensador super?

3.3.1. Doble capa electrostática de Helmholtz

3.3.2. Pseudocapacitancia

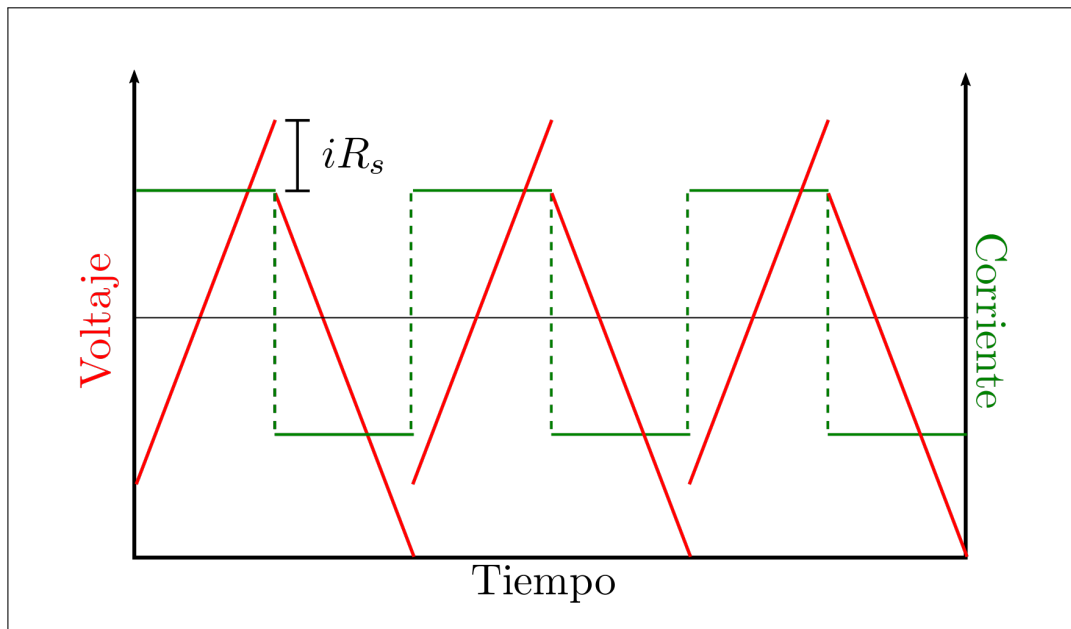


Figura 3.2: Carga y d.

Capítulo 4

Título Capítulo 4

Frase célebre

Autor

Capítulo 5

Resultados, conclusiones y recomendaciones

Frase célebre

Autor

Anexo

Índice analítico

condensador ideal, 9

condensador real, 10

longitud característica, 3, 7

nanomaterial, 3, 7

tensión de ruptura, *breakdown voltage*, 10

Bibliografía

- [1] J. Yahalom y J. Zahavi. "Electrolytic breakdown crystallization of anodic oxide films on Al, Ta and Ti". En: *Electrochimica Acta* 15.9 (1970), págs. 1429 -1435. ISSN: 0013-4686. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0013-4686\(70\)80064-0](http://dx.doi.org/10.1016/0013-4686(70)80064-0). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0013468670800640>.
- [2] J. Yahalom y J. Zahavi. "Experimental evaluation of some electrolytic breakdown hypotheses". En: *Electrochimica Acta* 16.5 (1971), págs. 603 -607. ISSN: 0013-4686. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0013-4686\(71\)85169-1](http://dx.doi.org/10.1016/0013-4686(71)85169-1). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0013468671851691>.
- [3] Elzbieta Frackowiak y François Béguin. "Carbon materials for the electrochemical storage of energy in capacitors". En: *Carbon* 39.6 (2001), págs. 937 -950. ISSN: 0008-6223. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-6223\(00\)00183-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-6223(00)00183-4). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008622300001834>.