

Innovador método de almacenamiento óptico en nano-cristales

Oscar Esneyder Sinuco Tirado
Arquitectura de computadores
Escuela de ingeniería de sistemas e informática
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
oscar_1699@hotmail.com

Jonattan Stivent Vargar Camacho
Arquitectura de computadores
Escuela de ingeniería de sistemas e informática
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
jhonatan.vargas@correo.uis.edu.co

Jose Saul Vega Arrieta
Arquitectura de computadores
Escuela de ingeniería de sistemas e informática
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
josevega2398@gmail.com

Javier Alfonso Vargas Triana
Arquitectura de computadores
Escuela de ingeniería de sistemas e informática
Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
javiervargastriana@gmail.com

Abstract

Data Storage is the data in the data storage medium, temporarily or permanently. The data storage medium or data storage medium is the physical material where data that can be processed by a computer, an electronic device, or a computer system is stored, although this term also covers the concept of document not necessarily computerized (usually in paper, cardboard or similar, but also in stone, wood, photosensitive material, magnetic or other material for audio records, etc.).

This project is responsible for showing the options to the data storage problems that we have today through two options, the first one is: *using the light for next-generation data storage and the following: Towards a storage of multilevel optical data regátable in simple nanocrystals;* with this it is sought to have available storage space and adequate to the remaining or residual information that can not be processed derived from the much information that nowadays circulates in human society through means or storage media for the lack of processing capacity to precisely process it in its entirety, for future uses. This is analogous to the information already processed and which arrives in large quantities with high demands for the current media or storage media.

Keywords

Storage, light, crystals, data, memory, information.

Resumen

El soporte de almacenamiento de datos o medio de almacenamiento de datos es el material físico donde se almacenan los datos que pueden ser procesados por una computadora, un dispositivo electrónico, o un sistema informático, aunque este término también abarca el concepto de documento no necesariamente informatizable (generalmente en papel, cartulina o similar, aunque también en piedra, madera, material fotosensible, material magnético o de otro tipo para registros de audio, etcétera).

Este proyecto se encarga de mostrar las opciones a los problemas de almacenamiento de datos que tenemos hoy en día a través de dos opciones, la primera es: *usando la luz para el almacenamiento de datos de próxima generación y la siguiente: Hacia un almacenamiento de datos ópticos multinivel regrátable en nanocristales simples;* con esto se pretende buscar tener el espacio de almacenamiento disponible y adecuado a la información restante o residual que no logra procesarse derivada de la mucha información que hoy en día circula en la sociedad humana a través de medios o soportes de almacenamiento por la falta de la capacidad de procesamiento para precisamente procesarla en su totalidad, para futuros usos. Así de forma análoga para la información ya procesada y que llega en grandes cantidades con altas demandas para los medios o soportes de almacenamiento actuales.

Palabras claves

Almacenamiento, luz, cristales, datos, memoria, información.

I. INTRODUCCIÓN

Con los años se ha aumentado la necesidad de crecer la capacidad de almacenamiento de los datos, debido al masivo crecimiento que ha tenido la generación de los datos. La creación de datos ha crecido al menos 3 veces más rápido en todo el mundo que la capacidad de almacenamiento de datos en los últimos años, es bajo esta necesidad que se requiere de nuevos enfoques que reemplacen las ya tradicionales formas de almacenamiento de datos magnéticos y de estado sólido para satisfacer la fuerte demanda de algo innovador. Una de las soluciones más prometedoras es el almacenamiento de datos ópticos, que se ha investigado en una variedad de enfoques diferentes, utilizando materiales diferentes. El almacenamiento óptico de datos permite la codificación multinivel, la cual permite aumentar la capacidad de almacenamiento al escribir más de un bit por punto.

El almacenamiento de datos ópticos multinivel se va a tratar en el siguiente documento con el uso de nanocristales aislantes inorgánicos dopados con iones de tierras raras, llamado también, haluro de alcalino-térreo $BaFCl : Sm^{3+}$. La investigación presentada aquí se basa en el descubrimiento de la conversión del estado de valencia extremadamente eficiente y reversible ($Sm^{3+} \rightarrow Sm^{2+}$) dentro de $BaFCl : Sm^{3+}$ tras la excitación en las transiciones en la región UV-C (215-180 nm) de impurezas de óxido en el huésped. El Sm^{2+} generado se puede leer mediante las líneas de fluorescencia nítidas f-f. En este documento, se proporcionara una prueba de concepto de almacenamiento de datos óptico multinivel reversible que se aproxima al nivel de un solo nanocristal. Se procederá en el documento a proporcionar una demostración del ciclo completo de escritura-lectura-borrado.

II. ESTADO DEL ARTE

Actualmente, el almacenamiento óptico se encuentra en un medio bidimensional, por ejemplo; el CD-ROM, DVD, Blu-Ray, etc. Aunque estos dispositivos han mejorado constantemente en la capacidad de almacenamiento, aún están limitados por el hecho de que los datos pueden escribirse en capas en el disco. El almacenamiento en 3D, por otro lado, no está limitado por las capas: al agregar volumen al medio, la capacidad de almacenamiento aumenta a pasos agigantados. Actualmente hay dos tipos principales de almacenamiento 3D: el llamado almacenamiento simple de datos en todo el volumen del disco y el almacenamiento holográfico.

La Localized-bit es una extensión del almacenamiento de disco estándar: los datos no solo están disponibles en la superficie del disco sino en todo su volumen. Luego, el láser lee los datos a través del medio, en lugar de a través de los pozos y llanos de un CD-ROM o DVD tradicional. A partir de la escritura de esta lección, el láser se puede usar para enfocar un bit a la vez, o para leer varios bits de datos al mismo tiempo (almacenamiento multinivel). Sin embargo, la tecnología aún se está desarrollando y estos avances requerirán cambios en el hardware para poder leer estos nuevos tipos de discos.

III. MARCO TEÓRICO

El almacenamiento óptico de datos es el uso de la luz para escribir y leer información desde y hacia un dispositivo de memoria. El almacenamiento se puede lograr utilizando láseres para modelar una superficie, como en un disco compacto, o alterando las propiedades físicas de un pequeño volumen dentro de un material sensible a la luz.

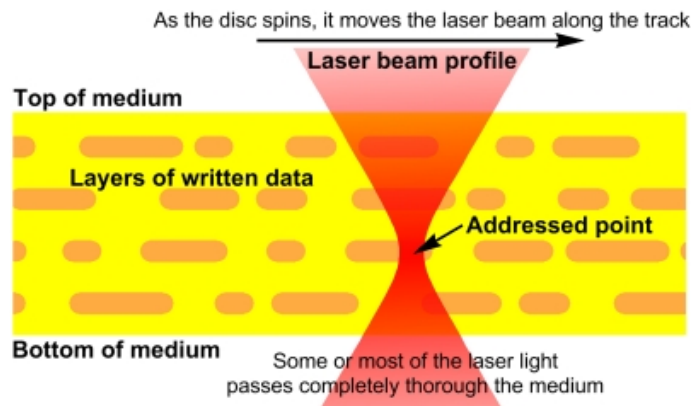


Figura 1. Sección transversal de un disco óptico 3D y cómo se accede a los datos

La grabación de datos en un medio de almacenamiento óptico 3D requiere que se produzca un cambio en el medio tras la excitación. Este cambio es generalmente una reacción fotoquímica de algún tipo, aunque existen otras posibilidades. Las reacciones químicas que se han investigado incluyen fotoisomerizaciones, foto-composiciones y foto-blanqueo e iniciación de la polimerización. Los más investigados han sido los compuestos fotocromáticos, que incluyen azobencenos, espiropiranos, estilbenos, fulgidas y diariletenos. Si el cambio fotoquímico es reversible, entonces se puede lograr el almacenamiento de datos regrabables, al menos en principio. Además, la grabación en niveles múltiples, donde los datos se escriben en “escala de grises” en lugar de las señales de “encendido” y “apagado”, es técnicamente factible.



Figura 2. Ejemplos de medios de almacenamiento de datos ópticos 3D.

IV. HARDWARE

El dispositivo utilizado para la implementación fue un microscopio confocal de barrido básico que permitió procesos de borrado y lectura, además este tenía un láser de 405 nanómetros como fuente (CrystaLaser, DL405-025), también se usó una etapa de nanoposición XYZ (PI nano, P-545.3R8S) y un controlador utilizado únicamente para el escaneo, este controlador se programó con LabVIEW.

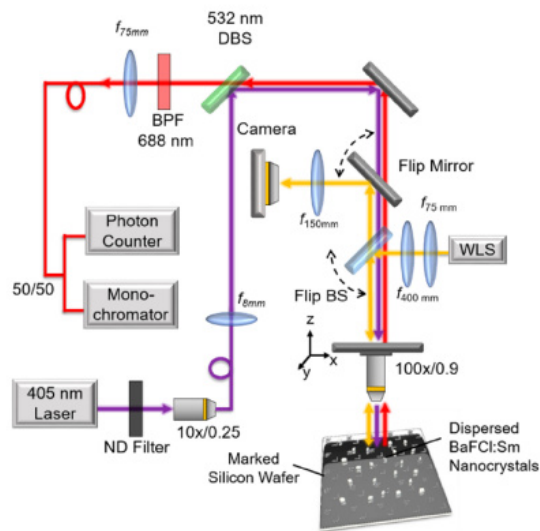


Figura 3. Configuración experimental para la implementación



Figura 4. Láser CrystaLaser



Figura 5. Etapa de nanoposición

V. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

A. Diseño del escenario

Para realizar los experimentos propuestos mas adelante, se contruyó un microscopio focal que constaba principalmente de un láser el cual era redirigido dependiendo de la necesidad a la cubierta de silicona la cual contenía los nano-cristales, estos laser's fueron dispersos con ayuda del BaFCl nanocristalino, el cual tiene sorprendentes propiedades de fotoluminiscencia y catodoluminiscencia lo cual permite, desde cierto punto de vista, almacenar información, pero además de esto realizar procesos de lectura y escritura de forma mucho mas rápida que las usadas hoy en día (ver figura 3).

B. Herramientas de desarrollo

Las herramientas usadas fueron las siguientes:

1. Láser 405nm

La principal función del láser en este experimento fue redirigir el mismo a las diferentes zonas con alta densidad de nano-cristales, en las cuales se realizan las diferentes operaciones de lectura, escritura y borrado, estas se realizaban con el mismo láser aprovechando una misma herramienta para diferentes propósitos.

2. BPF

Este filtro se utilizó como un filtro de paso de banda que como su nombre lo indica permite el paso de ciertas frecuencias a través de él, esto con el objetivo que las frecuencias de mayor o menor energía a las que soportan por naturaleza los nano-cristales no pasen y por consiguiente no afecten los datos que se quieren guardar, leer o borrar.

3. Filtro ND

Este filtro se usó para controlar la cantidad de luz que se enviaba desde el láser, ya que si la cantidad de luz que se envía sobrepasa cierto umbral se podrían generar errores en los nano-cristales cercanos a los datos a tratar.

4. DBS

Se utiliza comúnmente como un divisor de haz o de luz, básicamente es un espejo que refleja cierta cantidad de luz, mientras que deja pasar a través de él otra cantidad no necesariamente igual.

5. Etapa de nanoposición

Esta etapa del diseño se encarga de detectar con una precisión de nanómetros, el sitio exacto por el cual el haz de luz pasaba antes de impactar contra los nanocristales.

VI. EXPERIMENTOS

A. BaFCl: nanocristales Sm

El nanocristalino BaFCl: Sm 3+ es un fósforo de almacenamiento de rayos X altamente sensible, que puede tener aplicaciones en dosimetría e imágenes médicas. Este se preparó mediante co-precipitación como se ha descrito anteriormente (Propiedades de fotoluminiscencia y catodoluminiscencia del BaFCl nanocristalino). En resumen, se agregaron 25 ml de una solución acuosa 0,2 M de NH₄F a 25 ml de una solución acuosa 0,4 M de BaCl₂ que contiene 0,6 mg de SmCl₃ · 6H₂O. La coprecipitación produce nanocristales con morfología plaquetaria con un tamaño típico de 300 × 200 × 50 nm. Se evidencia que es difícil preparar BaFCl libre de óxido. Naturalmente, se anticipa que en BaFCl nanocristalino preparado por coprecipitación, la concentración de impurezas de óxido es relativamente alta debido a la gran relación superficie-volumen. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, a diferencia del fenómeno de almacenamiento de rayos X en BaFCl: Sm 3+, el efecto de almacenamiento óptico que se basa en las impurezas de oxígeno utilizadas aquí no requiere la presencia de bario para lograr una alta eficiencia, por lo que otros anfitriones, como SrFCl y CaFCl, podrían usarse para el almacenamiento de datos ópticos.

Tras la excitación en las amplias transiciones de O₂ alrededor de 200 nm, un electrón de la impureza de óxido en el huésped BaFCl se transfiere a Sm 3+, produciendo Sm 2+. El Sm 2+ se puede leer por medio de líneas de luminiscencia 5 D J - 7 F J f-f muy estrechas e intensas en la región roja del espectro visible. Es importante destacar que estas transiciones se pueden excitar de manera eficiente a través de la paridad permitida 4 f 6 → 4 f 5 5 d 1 transición (400 l / (molcm)) a una longitud de onda de 420 ± 20 nm utilizando diodos láser de bajo costo de color azul-violeta.

Para dispersar los cristales de BaFCl sobre un sustrato para las mediciones, primero se creó una suspensión libre de aglomeración en diclorometano (DCM). La solución se centrifugó luego a 4000 rpm durante 5 minutos y se extrajo el sobrenadante. Los nanocristales de BaFCl se depositaron luego en obleas de silicio marcadas alfabéticamente que, antes de la aplicación, se limpiaron rigurosamente en baños de ultrasonidos. Las muestras se colocaron posteriormente en un horno a 80 ° C durante 30 minutos para eliminar cualquier rastro del disolvente. Las obleas de silicio (1 cm x 1 cm) se inscribieron a la medida con letras alfabéticas utilizando un grabado de iones reactivo profundo.

B. Configuraciones experimentales

Las mediciones de lectura de fluorescencia se realizaron con óptica confocal, principalmente para poder aislar la señal de un cristal individual. El uso de la óptica confocal asegura que la fluorescencia de un solo píxel se observe en un momento dado, es decir, la fluorescencia restante de los píxeles anteriores no se detecte. El microscopio confocal de barrido básico (SCM) utilizado para los pasos de lectura y borrado fue un sistema personalizado que se muestra en el esquema de la Fig. 3 (Esquema mostrado es la sección anterior, Hardware). Consistía en un láser de tamaño $\approx 1 \mu\text{m}$. que escanea mediante un

controlador Programado con LabVIEW. Aquí notamos que la captación óptica (OPU) de, por ejemplo, los reproductores de BD y DVD se encuentra esencialmente en la misma configuración confocal y, por lo tanto, un lector que se asemeja mucho a estas tecnologías de consumo bien establecidas podría, en principio, usarse para la lectura compacta en 2D.

La luz de excitación y emisión se separó utilizando un divisor de haz dielectrico de 532 nm. Las imágenes de fluorescencia SCM se recolectaron utilizando un contador de fotones individuales de estado sólido acoplado a fibra (Excelitas, SPCM-AQRH), y los espectros se midieron con un monocromador (Horiba, iHR320). Se utilizó un acoplador de fibra multimodo 50:50 (200 μm de diámetro) para dividir la luz tanto en el contador de fotones como en el monocromador. Para eliminar la fluorescencia de fondo y aislar el pico dominante de 688 nm del BaFCl convertido: $\text{Sm}^{2+} (5D_0 \rightarrow 7F_0)$, que puede ser superado por el Sm^{3+} se utilizó un filtro de paso de banda estrecho a medida (Andover, 687.8 nm; 1 nm paso de banda) para la imagen de SCM. Para ayudar a localizar y enfocar los nanocristales en las obleas de silicio marcadas, las muestras se iluminaron con una fuente de luz LED blanca (Thorlabs, MCWHL2) y se observaron en una cámara de microscopio digital refrigerada de alto rendimiento (Nikon DS-Qi1). Esta configuración auxiliar se basó en un divisor de haz giratorio y un espejo giratorio como se muestra en la Fig. 3. Las muestras se convirtieron ($\text{Sm}^{3+} \rightarrow \text{Sm}^{2+}$) mediante exposición a una lámpara UV (Rexim, LLC UV-C Lámpara de cátodo frío MCCUV-C, 50 $\mu\text{W} / \text{cm}^2$ a 185 nm y 100 mm de distancia) colocados en la parte superior de la muestra después de que se retiró del microscopio confocal de barrido. Idealmente, las ópticas de grado UV y un láser UV-C (por ejemplo, un segundo armónico de un diodo láser de 415 nm) permitirían que la escritura se realice en el microscopio confocal de barrido sin la extracción de la muestra. La lectura a 405 nm se realizó a bajas potencias (50 μW), con el borrado de la señal lograda sin la eliminación de la muestra al aumentar la potencia del láser (220 μW) mientras se fija el microscopio confocal en el punto particular.

VII. RESULTADOS

A. Lectura de microscopio confocal de barrido

Las imágenes SCM de los nanocristales dispersos de BaFCl: Sm^{3+} se muestran en la Fig. 6 antes y después de la exposición a UV-C cuando se usa (a) el filtro de paso de banda de 687.8 nm (BP) y (b) no hay filtro. En esta figura se ve la importancia de filtrar la fluorescencia residual que se origina principalmente en el Sm^{3+} . Esto es crucial para permitir estados de nanocristales 'Off' y 'On' perceptibles y mejorar la SNR. El uso de este filtro también demuestra que la lectura se puede realizar simplemente usando mediciones de intensidad en lugar de análisis espectral. También notamos que las técnicas de lectura y grabación de múltiples puntos también podrían adoptarse para aumentar aún más los tiempos de escritura y lectura.

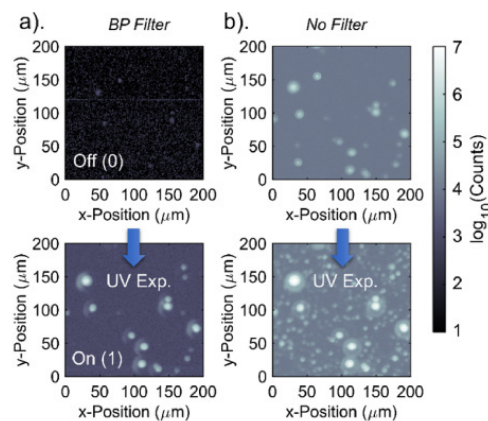


Figura 6. Imágenes SCM ($200 \times 200 \mu\text{m}^2$) de nanocristales dispersos de BaFCl: Sm^{3+} antes y después de UV-C (185 nm, $t \approx 10$ minutos, $P = 200 \mu\text{W} / \text{cm}^2$) exposición (a) con y (b) sin 687.8 nm, filtro de paso de banda (BP) de 1 nm, respectivamente.

B. Blanqueo / borrado de nanocristales

Luego se expuso una segunda oblea a UV-C durante ≈ 10 minutos, con la lectura de la imagen SCM a baja potencia ($\lambda = 405 \text{ nm}$, $P = 50 \mu\text{W}$, $\lambda_{em} = 687.8 \text{ nm}$, $5D_0 \rightarrow 7F_0$) como se muestra en la Fig. 7. En (a) se identificaron tres nanoagregados de 2-3 nanocristales C1, C2 y C3. En (b) al aumentar la potencia de lectura a 405 nm de 50 μW a 220 μW , el resultado demuestra claramente el borrado de la señal de fluorescencia dominante de 688 nm, lo que proporciona una prueba de concepto del procedimiento de borrado. En (c) se muestra el esquema de escritura-lectura-borrado para el almacenamiento de datos usando estos fósforos de almacenamiento UV.

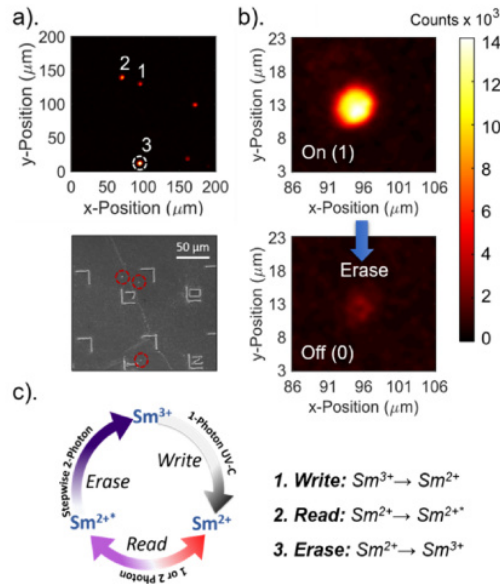


Figura 7. Demostración de blanqueo / borrado de nanocristales.

C. Hacia el almacenamiento óptico de datos multinivel

La Figura 8 ha proporcionado una prueba de concepto para el almacenamiento de datos multinivel mediante el procedimiento de escritura en escala de grises. Esta demostración ha mostrado el paso de escritura (UV-C 185 nm) con codificación de múltiples niveles de los datos, con lectura por fotoluminiscencia excitada por un fotón (región azul-violeta) (región roja del espectro visible). La imagen SCM de la misma oblea, después de que los nanoagregados C 1 , C 2 y C 3 se hayan blanqueado a su vez en el estado Sm^{3+} , se muestra en la Fig. 8. (a) , lo que demuestra es el aumento gradual en la intensidad de la $5D_0 \rightarrow 7F_0$ transición cuando se lee a potencia constante. (b) muestra exploraciones más finas del cambio de estado de valencia multinivel de los tres nanoagregados que posteriormente se tomaron imágenes utilizando microscopía electrónica de barrido (SEM) en (c). En (d) la distribución medida del tamaño normal de los agregados y la intensidad de fotoluminiscencia integrada en función del tamaño del agregado para una colección de 60 partículas en las obleas. En (d) es el experimento que demuestra que el tiempo de escritura puede reducirse drásticamente en al menos 10 órdenes de magnitud, como se demostró en el caso de una muestra global, utilizando un láser de excímero (traza azul) en lugar de la lámpara UV de mercurio (traza roja).

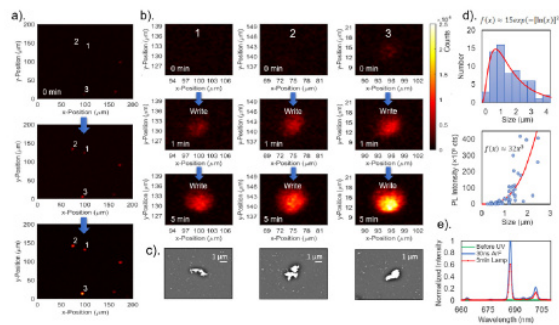


Figura 8. Almacenamiento óptico de datos multinivel

D. Almacenamiento de datos óptico regrabable

Posteriormente se demostró una prueba de concepto de la repetibilidad del ciclo de escritura-lectura-borrado usando la misma oblea que en el resultado anterior. La Figura 9 (a) muestra tres ciclos consecutivos de escritura-lectura-borrado como lo muestran sus imágenes y espectros SCM. Se podrían demostrar muchos más ciclos si se usaran ópticas de grado UV para permitir la exposición de la muestra a través del microscopio. En (b) se muestra las cinéticas de blanqueo / borrado típicas de Sm^{2+} a Sm^{3+} .

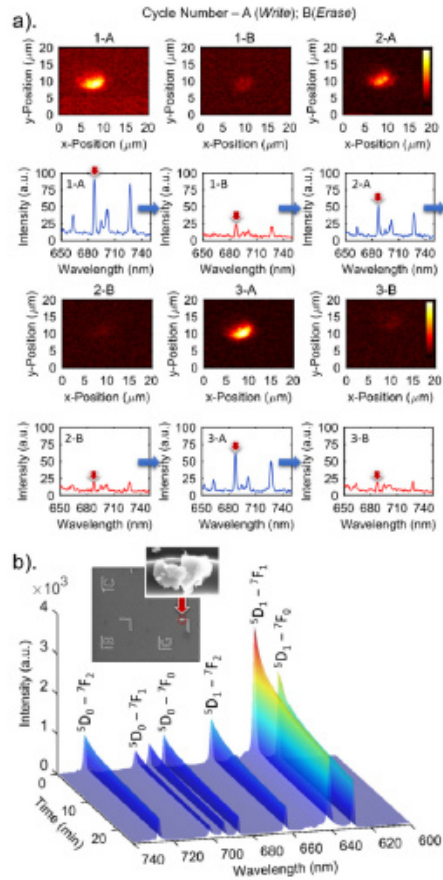


Figura 9. Demostración de almacenamiento de datos reescribible

E. Almacenamiento óptico de datos de un solo nanocrystal

Si bien los resultados anteriores utilizaron pequeños grupos de 2 o 3 cristales individuales, se observa el mismo comportamiento informado cuando se puede aislar un solo cristal, aunque con una intensidad de señal más baja. La Figura 6 muestra un resultado básico para el ciclo de escritura-lectura-borrado de un solo cristal. En (a) notamos que al menos una dimensión de los cristales está bien y verdaderamente en la nanoescala. En (b) La imagen SCM de escaneo fino tras la exposición a UV-C y después del blanqueo parcial.

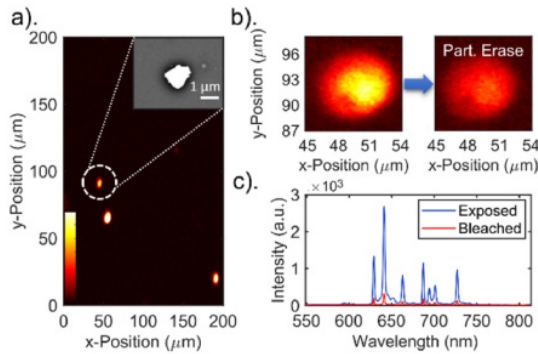


Figura 10. Conmutación de nanocristales individuales

F. Almacenamiento de datos ópticos de súper-resolución 2D y 3D

Si bien este documento ha investigado el almacenamiento de datos ópticos en nanocristales de varios cientos de nanómetros de tamaño, se espera que sea posible el almacenamiento de datos a varios niveles para nanocristales más pequeños de

hasta 30 nm, como lo preparó el molino de bolas. Es importante destacar que, en comparación con los nanocristales preparados por co-precipitación, Sm³⁺ significativamente más alto se pueden incorporar concentraciones de hasta el 2 por ciento mediante el método mecánico-químico que permitiría muchos más niveles de codificación de datos. Un desafío que se enfrentó durante una investigación preliminar de nanocristales más pequeños de 30 nm fue el blanqueo debido al aumento del poder de excitación utilizado para lograr una fuerte señal de lectura.

Se cree que la plataforma de almacenamiento de datos presentada en este documento, utilizando los nanocristales BaFCl:Sm, podría extenderse fácilmente a 2D, incrustando los nanocristales en una película flexible (por ejemplo, 5 Kraton TM), o utilizando varias técnicas de modelado de nanopartículas. También podría extenderse fácilmente a 3D, lo que permitiría densidades de datos ultra altas del orden de muchos TB / cm³ si se codificaran cientos o incluso miles de niveles. La plataforma también permitiría una lectura paralela rápida como resultado de la codificación multibit. Para cambiar completamente un nanocristal de 30 nm en todo su rango lineal, calculamos que se necesita un minuto 5×10^{12} J (5fJ). Tales requisitos de baja energía son particularmente ventajosos para aplicaciones en chips fotónicos.

VIII. DISCUSIÓN

Se concluye que el almacenamiento por nanocristales basados en luz tiene mucha más viabilidad que los tipos de almacenamiento convencionales (discos magnéticos y de estado sólido) ya que estos son mucho más pequeños, por lo cual el espacio físico de almacenamiento no será un problema, además el consumo energético es mucho menor que los anteriormente mencionados, básicamente porque los discos duros magnéticos siempre están girando y los de estado sólido siempre permanecen conectados, mientras que los basados en nanocristales lo hacen de una forma mucho más natural, únicamente se enciende el láser cuando se es realmente necesario, además de ser un láser de relativa baja potencia.

En relación a la vida útil se observa una notoria ventaja por parte de los nanocristales, ya que la característica de almacenamiento es propia del material.

La potencia de lectura también es un factor, que en relación a los demás tipos de almacenamiento, es mucho mejor, ya que la potencia usada en los procesos de lectura es increíblemente baja.

REFERENCIAS

- [1] H. Riesen, K. Badek, T. M. Monro, and N. Riesen, "Highly efficient valence state switching of samarium in BaFCl:Sm nanocrystals in the deep UV for multilevel optical data storage," *Opt. Mater. Express* 6(10), 3097–3108 (2016).
- [2] 3D Optical Data Storage: Definition Explanation — Study.com", Study.com, 2019. [Online]. Available: <https://study.com/academy/lesson/3d-optical-data-storage-definition-explanation.html>. [Accessed: 26- Mar- 2019]
- [3] Almacenamiento de datos óptico 3D", HiSoUR Arte Cultura Historia, 2019. [Online]. Available: <https://www.hisour.com/es/3d-optical-data-storage-40773/>. [Accessed: 26- Mar- 2019]