Investigation of the Effect of Temperature, Time, Reaction Volume and Ratio of Thiourea to Citric Acid on the Optical Properties of Carbon Quantum Dots Doped with Nitrogen, Sulfur and Zinc Metal

Habibollah Shahvali[1], Asghar Jamshidi Zavaraki[1*] and Mohammad Mahdi Ochi[2]

1- Quantum Photonic Devices Laboratory, Department of Microsystems and Photonics, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Department of Nano biotechnology & Biomimetic, School of Life Science Engineering, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran
* Corresponding author, Email: Jamshidi.zavaraki@ut.ac.ir

نسخه پیش از انتشار

ABSTRACT

Introduction and Objectives: In this study, four color spectra (blue to red) of zinc-doped carbon quantum dots were synthesized by hydrothermal method using varying the volume, precursor ratio, synthesis time, and temperature. The effect of simultaneous doping with nitrogen and sulfur on optical properties was also investigated.

Materials and Methods: Citric acid precursors, thiourea with different molar ratios and zinc chloride were dissolved in deionized water. The reaction were carried out at 170 to 200 °C for 3 to 10 h. The samples were characterized using ultraviolet-visible spectroscopy, photoluminescence, dynamic light scattering, and Fourier transform infrared spectroscopy.

Results: The results showed that changes in time, temperature, and reaction volume led to significant changes in the absorption and emission wavelengths, in which the emission shifted from the blue region to the red with increasing temperature and decreasing time. In addition, simultaneous doping of nitrogen and sulfur through thiourea along with the presence of zinc led to an increase in fluorescence intensity and improved quantum yield.

Conclusion: This study demonstrates that doped carbon quantum dots with tunable optical properties in the visible range (blue to red) can be produced by simultaneously controlling the temperature, time, reaction volume, and precursor ratio in hydrothermal synthesis. High fluorescence intensity, suitable quantum yield, and significant Stokes shift make these nanoparticles promising candidates for diagnostic and bioimaging applications. However, further studies are needed to confirm their practical efficacy in vivo and in vitro.

Keywords: Carbon quantum dots, Synthesis time, Synthesis temperature, Metal doping, Optical properties, Precursor ratio, Nitrogen and sulfur doping.

بررسی تأثیر دما، زمان، حجم واکنش و نسبت تیواوره به اسید سیتریک بر خواص نوری نقاط کوانتومی کربنی آلاییده‌شده با نیتروژن، گوگرد و فلز روی

حبیب اله شاه‌ولی[۱]، اصغر جمشیدی زوارکی[۱*] و محمد مهدی اوچی[۲]

۱- آزمایشگاه ادوات کوانتوم فوتونیکی، گروه ریزفناوری و فوتونیک، دانشکدگان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- گروه نانوزیست‌فناوری و زیست الهام، دانشکده مهندسی علوم زیستی، دانشکدگان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[*] نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: Jamshidi.zavaraki@ut.ac.ir

نسخه پیش از انتشار

چکیده

مقدمه و اهداف: در این پژوهش، چهار طیف رنگی (آبی تا قرمز)، از نقاط کوانتومی کربنی آلاییده‌شده با روی، با تغییر در حجم، نسبت پیش‌سازها، زمان و دمای سنتز، به روش هیدروترمال سنتز شدند. همچنین تأثیر آلایش هم‌زمان با نیتروژن و گوگرد بر خواص نوری، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: پیش‌سازهای اسید سیتریک و تیواوره، در نسبت‌های مولی مختلف و کلرید روی در آب دیونیزه حل شدند و واکنش در دماهای ۱۷۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و زمان‌های ۳ تا ۱۰ ساعت انجام شد. نمونه‌ها با استفاده از طیف‌سنجی مرئی- فرابنفش، فوتولومینسانس، پراکندگی نور دینامیکی و طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون‌قرمز مشخصه‌یابی شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تغییرات زمان، دما و حجم واکنش، منجر به تغییرات قابل‌توجهی در طول‌موج‌های جذب و نشر شد؛ به‌طوری‌که با افزایش دما و کاهش زمان، نشر از ناحیه آبی به قرمز تغییر کرد. علاوه‌براین، آلایش هم‌زمان نیتروژن و گوگرد از طریق تیواوره به همراه حضور روی، منجر به افزایش شدت فلورسانس و بهبود بازده کوانتومی شد.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان می‌دهد که با کنترل هم‌زمان دما، زمان، حجم واکنش و نسبت پیش‌ساز در سنتز هیدروترمال، می‌توان نقاط کوانتومی کربنی آلاییده‌شده با خواص نوری قابل‌تنظیم در محدوده مرئی (آبی تا قرمز) تولید کرد. شدت فلورسانس بالا، بازده کوانتومی مناسب و جابه‌جایی استوکس بالا، این نانوذرات را به گزینه‌های امیدوارکننده‌ای برای کاربردهای تشخیصی و تصویربرداری زیستی تبدیل می‌کند؛ هرچند برای تأیید کارایی عملی درون‌تنی و برون‌تنی آن‌ها به مطالعات بیشتری نیاز است.

واژه‌های کلیدی: نقاط کوانتومی کربنی، زمان سنتز، دمای سنتز، آلایش فلزی، خواص نوری، نسبت پیش‌ساز، آلایش نیتروژن و گوگرد.