DOI: 10.3724/SP.J.1096.2011.01159

基于在位光还原银胶法的 表面增强拉曼散射技术检测核酸碱基

吴 a^1 李海 a^2 赵海 b^1 孙 s^3 许浩 x^1 吕 明¹

杨春花4 李文钊1 李正强*1

¹(吉林大学分子酶学工程教育部重点实验室,长春130012) ²(吉林大学生命科学学院,长春130012) ³(吉林省长春市疾病预防控制中心,长春130033) ⁴(长春医学高等专科学校,长春130013)

摘 要 在环状有机物存在的条件下,Ag⁺经激光诱导可发生光还原反应,形成 Ag 原子聚集的银胶体。本 研究通过拉曼散射光谱、紫外-可见光谱和扫描电镜证明,核酸碱基和 Ag⁺混合溶液经过激光诱导可以生成 银胶体颗粒。随着银胶体的生成,核酸碱基的拉曼光谱信号因为表面增强拉曼散射效应而得到明显增强。实 验表明,本方法不但可以获得高信噪比的拉曼光谱谱图,而且获得的胞嘧啶、尿嘧啶、胸腺嘧啶、腺嘌呤和鸟嘌 呤的增强拉曼光谱与 Lee-Meisel 银胶和银膜表面两种体系下获得的表面增强拉曼光谱具有相似性。同时, 腺嘌呤和鸟嘌呤又出现了一些因 Ag⁺作用而产生的新位移谱带,但是仍然可以作为指征碱基类别的特征峰 归属。利用 Ag⁺光还原的方法在位获得银溶胶增强拉曼光谱信号,具有银胶制备操作简单、峰位特征等优 点,在核酸碱基的低浓度在位检测方面具有应用前景。

关键词 光还原反应;银胶体;表面增强拉曼散射;碱基检测

1 引 言

表面增强拉曼散射(SERS)是一种可以高效检测低浓度分子的方法,它不但能检测出单分子层面甚 至亚单分子层面的物质,而且还能在分子水平上给出丰富的物质结构信息。该项技术已经被广泛应用 于生物化学、环境化学等领域中有机化合物分子的分析与检测^[1~5]。

可以产生表面增强拉曼散射效应的基底有粗糙的金属表面、金属电极及金属溶胶等^[5~9]。其中,利用金 属溶胶增强分子拉曼信号的方法是在溶液体系下获得分子表面增强拉曼光谱的重要手段^[10,11]。制备银胶的 常用方法是 Lee-Meisel 法,在加热的条件下,Ag⁺ 被柠檬酸钠还原成 Ag 原子,以制备银胶,虽然这种方法制备 的银胶稳定性好,表面增强效果明显,但是需要加热及搅拌,制备一次银胶约需 90 min,并需要放置一段时间 后才能使用^[12]。近年来人们发现,在光照或辐射的条件下,由有机物产生的自由基可直接使金属阳离子还原 形成金属原子,通过光诱导 Ag⁺ 获得 Ag 单质基底的方法已备受关注。利用在位光还原银胶法对染料和吡啶 等有机小分子进行诱导,可获得很好的表面增强效果^[13,14]。但是,由核酸碱基提供自由基还原 Ag⁺制备银胶 基底,并以此获得核酸碱基的表面增强拉曼光谱的研究还未见报道。

本研究将 AgNO。与核酸碱基混合在一起,利用激光诱导光还原反应制备的银胶增强碱基的拉曼光谱 信号,获得了高信噪比的拉曼光谱谱图。在拉曼增强光谱中可以找到它们的特征峰归属,以指证碱基类 别。通过 Ag⁺直接进行光还原反应,增强碱基拉曼光谱信号,这种在位光还原银胶法操作非常简单,将成 为一种具有潜在应用价值的检测技术。

2 实验部分

2.1 碱基溶液及 AgNO3 溶液的制备

核酸碱基(腺嘌呤、鸟嘌呤、胞嘧啶、胸腺嘧啶、尿嘧啶)购自 Sigma-Aldrich 公司, AgNO₃ 购自 Sigma 公司。分别将过量的碱基溶于 5 mL 水中,将获得的饱和溶液稀释至 260 nm 处的吸收值在 $0.5 \sim 1$ 之间, 然

2010-11-25 收稿;2011-03-16 接受

本文系国家自然科学基金面向项目(No. 30870533)资助

* E-mail: lzq@jlu. edu. cn

后根据各自的吸光系数计算碱基饱和溶液的浓度,最后将碱基的浓度稀释至 0.1 mmol/L,由于鸟嘌呤在 水中溶解度较低,所以稀释至 0.01 mmol/L。

将 0.85 g AgNO₃ 溶解于 5 mL 水中,得 1 mol/L AgNO₃ 溶液,梯度稀释配制成 0.1, 0.01 和 0.001 mol/L AgNO₃ 溶液。

实验用水均经过 Millipore 公司的净化系统处理,电阻值大于 $18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ 。

2.2 Lee-Meisel 银胶溶液的制备

根据 Lee-Meisel 方法,利用柠檬酸钠还原 AgNO₃,制备银胶溶液。将 90 mg AgNO₃ 溶解于 500 mL 水中,并加热至沸,将 10 mL 1% 柠檬酸钠溶液缓慢滴入 AgNO₃ 溶液,保持溶液体系为微沸的状态,持续 剧烈搅拌,加热约 90 min 取出,将获得的银胶溶液低温避光保存备用^[12]。

2.3 银膜的制备

采用电子蒸镀机将银蒸镀在 10 cm imes 5 cm 的玻璃片上,将获得的银膜低温避光保存备用。

2.4 拉曼光谱测量

2.4.1 在位制备银胶体系下的拉曼光谱测量 将 0.1 mmol/L 的腺嘌呤、胞嘧啶、胸腺嘧啶、尿嘧啶碱基溶液 及 0.01 mmol/L 鸟嘌呤溶液与浓度分别为 1,0.1,0.01 和 0.001 mol/L 的 AgNO₃ 溶液等体积混合,混合后 的溶液载入内径为 0.5 mm 的石英毛细管,进行拉曼光谱检测。采用 Renishaw 显微拉曼光谱仪对样品进行 检测。激发光波长为 488 nm,样品的照射功率为 3 mW,检测暴光时间为 10 s,累积次数为 10 次。

2.4.2 Lee-Meisel 银胶体系下的拉曼光谱测量 将 0.1 mmol/L 的腺嘌呤、胞嘧啶、胸腺嘧啶、尿嘧啶溶液 及 0.01 mmol/L 鸟嘌呤溶液与银胶溶液等体积混合,混合后的溶液载入内径为 0.5 mm 的石英毛细管,检测条件同上。

2.4.3 银膜表面体系下的拉曼光谱测量 为保证 3 种 SERS 体系下碱基的浓度相同,将 1×10^{-4} mol/L 的腺嘌呤、胞嘧啶、胸腺嘧啶、尿嘧啶碱基溶液及 0.01 mmol/L 鸟嘌呤溶液稀释一倍;将稀释后的溶液直接 滴加在银膜表面,使用 Renishaw 显微拉曼光谱仪对样品直接进行拉曼光谱检测,检测条件与前两种体系 下的拉曼光谱检测条件相同。

2.5 紫外-可见光谱检测和电镜检测

将 0.1 mmol/L 腺嘌呤、胞嘧啶、胸腺嘧啶、尿嘧啶碱基溶液及 1×10^{-5} mol/L 鸟嘌呤溶液各 1 mL 分 别与 0.1 mol/L AgNO₃ 溶液等体积混合,放置于激光波长 488 nm,功率 0.5 W 的激光下照射 30 min 后, 在 1 mL 吸收池中使用 Shimadzu UV-2550 型光谱仪对样品进行紫外-可见光谱扫描。

将 0.01 mmol/L 胸腺嘧啶溶液和 0.1 mol/L AgNO₃ 溶液等体积混合,将混合溶液放置于波长 488 nm,功率 0.5 W 的激光下照射 30 min 后,进行电镜扫描。

3 结果与讨论

3.1 Ag⁺浓度与在位制备银胶核酸碱基拉曼光谱增强效果的关系

维持腺嘌呤、鸟嘌呤、胞嘧啶、胸腺嘧啶和尿嘧啶浓度不变,改变 Ag^+ 浓度,进行拉曼光谱的测定,结果 如图 1 所示。由图 1 可见,5 种碱基溶液的拉曼光谱在没有 Ag^+ 存在的条件下的信号强度都很弱,很难发 现核酸碱基拉曼光谱的特征谱峰。当 Ag^+ 浓度达到 50 mmol/L 时,碱基的拉曼光谱信号明显提高,可以 清晰地发现各自的特征谱峰。表明在激光诱导下, Ag^+ 和核酸碱基的混合溶液体系可发生光反应,在位制 备获得银胶体(本文中称为在位制备银胶),从而产生拉曼光谱表面增强作用。

3.2 在位制备银胶、Lee-Meisel 银胶和银膜表面核酸碱基表面增强拉曼光谱的比较

为了研究在位制备银胶的增强效应以及得到的拉曼光谱的特性,对腺嘌呤、鸟嘌呤、胞嘧啶、胸腺嘧啶和尿嘧啶的在位制备银胶溶液,Lee-Meisel银胶溶液和银膜表面3种体系下表面增强拉曼光谱进行比较(图 2),对一些特征峰进行了归属(表 1)。为了准确归属各个拉曼峰对应的化学键的振动模式,将5种碱基的原子进行了编号,见表 1。

由图 2 和表 1 可见,腺嘌呤和鸟嘌呤的在位制备银胶体系下的表面增强拉曼光谱和 Lee-Meisel 银胶 溶液及其银膜表面体系下的表面增强拉曼光谱之间是有一定差别的。在腺嘌呤和鸟嘌呤的在位制备银胶 增强拉曼光谱中,除了其余两种体系中存在的拉曼光谱谱带以外,出现了许多新的谱带。在腺嘌呤的增强拉曼光谱中,指征嘌呤环的环变形振动和环呼吸振动的 626,688,734 和 1335 cm⁻¹等处的拉曼光谱 谱带在 3 种增强体系下都存在,而在位制备银胶表面增强拉曼光谱中 1077,1168,1361 和 1441 cm⁻¹等



图 1 (A)1×10⁻⁴ mol/L 腺嘌呤, (B)1×10⁻⁴ mol/L 胞嘧啶, (C) 1×10⁻⁵ mol/L 鸟嘌呤, (D) 1×10⁻⁴ mol/L 胸腺嘧啶和(E) 1×10⁻⁴ mol/L 尿嘧啶在不同的 Ag⁺浓度下的的拉曼光谱(由上至下体系中 Ag⁺浓度分别为(a)0 mmol/L, (b) 0.5 mmol/L, (c) 5 mmol/L, (d) 50 mmol/L, (e) 500 mmol/L), (F)50 mmol/L AgNO₃ 在 NaClO₄ 内标存在下的拉曼图谱

Fig. 1 Raman spectra of $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ adenine(A), $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ cytosine(B), $1 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ guanine(C), $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ thymine (D), $1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ uracil (E) and 50 mmol/L Adenine (F) with a series AgNO₃ concentration of (a) 0 mmol/L, (b) 0.5 mmol/L, (c) 5 mmol/L, (d) 50 mmol/L, (e) 500 mmol/L



图 $2 = (A)1 \times 10^{-4} \mod / L$ 脲嘌呤((B)1 × 10^{-4} \mod / L 肥嘧啶((C)1 × 10^{-4} \mod / L J 嘌呤((D)1 × 10^{-4} \mod / L 胸腺嘧啶和(E) $1 \times 10^{-4} \mod / L$ 尿嘧啶在位制备银胶溶液,Lee-Meisel 银胶溶液和银膜表面 3 种体系表面增强 拉曼光谱(a)在位制备银胶溶液体系;(b)Lee-Meisel 银胶溶液体系;(c)银膜表面体系

Fig. 2 SERS spectra of 1×10^{-4} mol/L adenine(A) , 1×10^{-4} mol/L cytosine(B), 1×10^{-5} mol/L guanine(C), 1×10^{-4} mol/L thymine(D) and 1×10^{-4} mol/L uracil (E) in (a) in the situ prepared silver colloids, (b) in silver colloids and (c) on silver film

表 1 腺嘌呤、胞嘧啶、鸟嘌呤、胸腺嘧啶、尿嘧啶在位制备银胶溶液、Lee-Meisel 银胶溶液以及银膜表面 3 种环境下的表面增强拉曼光谱(SERS)归属及其结构

Table 1 Assignment of wavenumber value in SERS spectra of the five bases, description of different vibrational modes, and structure of nucleic acid bases

	M 1	SERS	SERS	SERS	DI	A
	Mode (In this study	y) (In colloids)	(On film)	Plane	Assignment
腺嘌呤 Adenine	1	626	626	626	in	def R6(sqz group C4-C5-C6, N1-C6-N10), def R5(sqz group C5-N7-C8)
	2	688	692	690	out	def R5, def R6 (tors C4-C5-C6, wag N3-C4- N9)
	3	734	735	733	in	ring breath whole molecule (distorted)
	4		963	957	in	def R5 (sqz group N7-C8-N9)
	5	1240	1249		in	rock NH_2 , str C5-N7, N1-C2, C2-N3
	6		1267	1269	in	bend C8-H, N9-H, str N7-C8
	7	1335	1335	1332	in	bend C2-H, C8-H, N9-H, str C6-N1, C8- N9, N3-C4 C5-N7
	8	1361				
	9		1375	1373	in	bend C2-H, N9-H, str C8-N9, C4-N9
	10	1391	1400	1398		
	11		1467	1460	in	str N7-C8, bend C8-H, sciss NH_2
	1	603	601	597	in	def ring
鸟嘌呤	2	699	695	697	out	bend C2=O7 N1-H
Cytosine	3	802	798	796	in	ring breathing
N - - - - - - - - - - - - -	4	1043	1035	1037	in	str C6-N1, bend C6-H9
	5	1195	1195	1193	in	str N3-C4
	6	1307	1307	1306	in	str C2-N1, C4-N8
	7	1356		1360	in	bend C6-H
	8		1426	1422	in	str C2-N1
	1	671	658	665	out	bend N9-H, sciss NH ₂
胞嘧啶	2		729		out	bend $C = O C - H$
Guanine	3		957			
NH ₂	4		1262			
15 4 N	7	1299	1299	1299	in	str N7-C8, C2-N3, bend N1-H, N7-H
6 1 2	8		1351		in	str C5-N7
H NO	9	1547	1541	1552	in	str N3-C2, C4-N9 , N3-C4, sciss $\rm NH_2$
	10		1699		in	str C=O
	1	588	584		in	ring deformation
胸腺嘧啶 Thymine	2	665	665	662	in	bend C2=O, C4=O, C5-C11
	3	761		761	in	str C4-C5, C5-C11, def R
	4	800	798	800	in	ring breathing
	5	1005	999	1003	in	ring breathing , CH_3 asymmetric stretching
0 	6	1219	1221		in	C-N stretching
尿嘧啶 Uracil	7	1278	1278			
	8	1309		1302		
	9	1348	1351	1347	in	bend N-H, C-H
	10	1486	1484	1482		
	11	1571		1576		
	12	1625	1627	1629		
	1	561	560	560	in	def R (sqz groups N3-C2-C4, C5-C6-N1)
	2	599	598	597	in	def R (sqz groups N3-C2-O7, N3-C4-O8)
	3	801	802	800	in	ring breathing
Î	4	1048	1046	1046	in	def R (sqz groups C5-C6-N1, N3-C4-C5)
6 1 NH	5	1107	1102	1196	in	str C5-C6 , C6-N1, bend C5-H
	6	1279	1279	1279	in	str N3-C4, bend N1-H, C5-H, C6-H
	7	1363	1370	1363	in	str N1-CZ, CZ-N3, C4-C5, C2= $O7$, bend C5- H
	8	1629	1631	1627	in	str C2=O7 , C5-C6, bend N1-H

[1] Bend, bending; breath, breathing; def, deformation; rock, rocking; sciss, scissoring; str, stretching; wag, wagging; R5, five-membered ring; R6, six-membered ring; R, ring. Ref: [15-22]

处出现了新的拉曼光谱谱带,它们大多指征分子中的 C—C 和 N—C 键的伸缩振动,并且在 Lee-Meisel银胶溶液及其银膜表面常规表面增强拉曼光谱中强度较高的是 1335 cm⁻¹处的拉曼光谱谱带, 而在在位制备银胶增强拉曼光谱中变成了 1361 cm⁻¹处的谱带强度最高。在鸟嘌呤的 3 种增强拉曼光 谱中,只有 1299 和 1547 cm⁻¹处指征 N—C 键伸缩振动的拉曼光谱谱带在在位制备银胶溶液,Lee-Meisel银胶溶液和银膜表面 3 种体系下的光谱中都存在,而在位制备银胶溶液增强光谱中在 709、837、 1035、1276 和 1597 cm⁻¹处出现了在 Lee-Meisel银胶溶液及其银膜表面表面增强拉曼光谱中没有出现 的谱带。这是因为在在位制备银胶溶液中,有一些 Ag⁺可能未形成银胶,而是直接与腺嘌呤相互作用, 形成 Ag⁺与核酸碱基的复合体。根据 O'Hair 等^[23]关于 Ag⁺与碱基相互作用的研究结果,Ag⁺在与碱 基相互作用的时候,作用于碱基的 N 原子上,这必然对 N 原子参与的伸缩振动或者摆动振动造成限制, 同时也会影响整个碱基分子的变形振动和呼吸振动,进而使原来指征这些化学键振动的拉曼谱峰位置 发生改变。所以这些新的拉曼光谱谱带的存在可以推断在 Ag⁺增强腺嘌呤和鸟嘌呤的拉曼光谱信号 的过程中,由于 Ag⁺存在,两种碱基的分子结构发生了改变,并形成腺嘌呤与 Ag⁺的复合体。

比较胞嘧啶、胸腺嘧啶和尿嘧啶在 3 种体系下的拉曼光谱可以发现,3 种碱基在在位制备银胶体系下的增强光谱与 Lee-Meisel 银胶溶液体系和银膜体系具有很高的相似性,根据 Ag^+ 在环状有机基团存在的条件下,由激光诱导可以发生光还原反应的性质,推断 3 种碱基的拉曼信号被增强,是因为在 3 种碱基存在的条件下, Ag^+ 发生光还原反应,产生银纳米粒子或 Ag^+ ,而激光照射样品会伴随一定的热运动,带动银粒子和原子运动并形成更大的银粒子,进而产生表面增强效应。

3.3 Ag⁺与核酸碱基混合体系的紫外光谱以及与胸腺嘧啶的电镜结果

为进一步证明在位制备银胶的生成,对光反应的产物进行了紫外可见光谱扫描(图 3)。将含有 0.1 mol/L Ag⁺与1×10⁻⁴ mol/L 碱基的混合溶液置于 488 nm 激光下照射 30 min,发现混合溶液的颜 色发生了明显变化(图 3A)。对混合溶液进行紫外-可见吸收光谱扫描(图 3B)发现,AgNO₃-胞嘧啶混 合溶液、AgNO₃-胸腺嘧啶混合溶液、AgNO₃-尿嘧啶混合溶液及 AgNO₃-鸟嘌呤混合溶液分别在 568, 543,601 及 449 nm 处有明显的吸收峰生成。根据文献[24],这些特征吸收峰的出现说明在 AgNO₃-碱 基混合溶液中有银纳米粒子生成,而且这些银粒子在不同碱基存在的条件下,可以形成不同聚集程度的 银粒子聚集体。但是在 AgNO₃-腺嘌呤混合溶液中,未发现明显的吸收峰,这是由于随着 Ag⁺与腺嘌呤 之间的相互作用,体系的 pH 值发生了很大的变化,而较低的 pH 值不利于 Ag 原子的聚集,形成的银胶 颗粒粒径较小,所以形成的银胶体的吸收峰位置距离腺嘌呤碱基的吸收峰位置较近,而腺嘌呤碱基的吸 收信号较强,导致银胶颗粒的吸收信号被掩盖。



图 3 (A) 1×10^{-2} mol/L Ag⁺ 在不同核酸碱基存在条件下光还原形成银溶胶照片 (从左至右分别为 AgNO₃ 空白溶液、胸腺嘧啶、鸟嘌呤、胞嘧啶、尿嘧啶、腺嘌呤);(B) 各种银溶胶的紫外可见光谱

Fig. 3 (A) Figures of formed by photoreduction of silver ions in the presence of different nucleic acid bases (from left to right: silver nitrate blank solution, thymine, guanine, cytosine, uracil, adenine); (B) UV-visible spectra of various kinds of colloids formed by photoreduction of silver ions in the presence of different nucleic acid bases.

因为胸腺嘧啶的 Ag⁺ 增强光谱与常规表面增强拉曼光谱具有很高相似性的,而且光反应后的

 $A_{g}NO_{3}$ -胸腺嘧啶混合溶液紫外可见光谱中在 543 nm 处出现了明显的吸收峰。为了进一步证明 A_{g} 原子聚集态的存在,选择它进行了扫描电镜实验,电镜照片为标尺为 20 μ m 和 500 nm 时的结果(图 4)。由电镜照片可以发现,在混合溶液中形成的银粒子颗粒大小分布不均,有很多粒径较大的银原子聚集体生成。



图 4 胸腺嘧啶存在下形成的银溶胶的扫描电镜照片 Fig. 4 SEM figures of silver colloids in the presence of thymine

3.4 结论

综合拉曼散射光谱,紫外可见光谱以及扫描电镜的实验结果,可以证明碱基在 Ag⁺ 溶液体系下获 得增强拉曼光谱信号是由于光还原生成的银原子聚集体对碱基分子的表面增强作用。

多次反复的测量,拉曼光谱谱带的强度和位置都未发生太大变化,说明由 Ag⁺光还原产生的在位 制备银胶表面增强拉曼光谱具有很好的重复性和稳定性,可获得高信噪比的拉曼谱图,为分子的检测提 供了足够的信息。利用光还原的方法直接获得在位银溶胶增强拉曼信号操作极其简单,对于核酸碱基 分子的在位检测具有重要的应用价值。

References

- 1 Stevenson R, Stokes R J, Graham D. Analyst, 2009, 134(8): 1561~1564
- 2 Hu J, Zheng P C, Yu R Q, Liu G K. Analyst, 2010, 135(5): 1084~1089
- 3 LUO Zhi-Xun, FANG Yan(骆智训,方炎). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(2): 358~364
- 4 Han X X, Zhao B, Ozaki Y. Anal. Bioanal. Chem. , 2009, 394(7): 1719~1727
- 5 JI Fang-Ying, LI Si, YU Dan-Ni, ZHOU Guang-Ming, HE Qiang(吉芳英,黎思,虞丹尼,周光明,何强). *Chinese J. Anal. Chem.* (分析化学), 2010, 38(8): 1127~1132
- 6 Brejna P R, Griffiths P R. Appl. Spectrosc., 2010, 64(5): 493~499
- 7 Ambrosio R C, Gewirth A A. Anal. Chem., 2010, 82(4): 1305~1310
- 8 KE Wei-Zhong, WU Jian-Zhong(柯惟中,吴缄中). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析),2004, 24(5): 551~553
- 9 Podstawka E, Proniewicz L M. J. Phys. Chem. B, 2009, 113(14): 4978~4985
- 10 Ke W, Zhou D, Ji K. Appl. Spectrosc., 2005, 59(4): 418~423
- 11 Xu L, Fang Y. J. Colloid Interface Sci., 2004, 274(1): 122~125
- 12 Lee P C, Meisel D. J. Phys. Chem., 1982, 86(17): 3391~3395
- 13 Canamares M V, Garcia-Ramos J V, Go'mez-Varga J D, Domingo C, Sanchez-Cortes S. Langmuir., 2007, 23: 5210~5215
- 14 Ahern A M, Garrell R L. Anal. Chem., 1987, 59: 2816~2818
- 15 Billinghurst B E, Loppnow G. R. J. Phys. Chem. A., 2006, 110(7): 2353~2359
- 16 Kalyanaraman S, Krishnakumar V, Ganesan K. Spectrochimica Acta Part A, 2007, 66(4-5): 1340~1346
- 17 Jayanth N, Ramachandran S, Puranik M. J. Phys. Chem. A, 2009, 113(8): 1459~1471
- 18 Zhu X M, Wang H G, Zheng X M, Phillips D L. J. Phys. Chem. B, 2008, 112(49): 15828~15836
- 19 Pergolese B, Bonifacio A, Bigotto A. Phys. Chem. Chem. Phys., 2005, 7: 3610~3613

20 Cho K H, Choo J, Joo S W. Spectrochimica Acta Part A, 2005, 61(6): 1141~1145

21 Zhang L, Li Q Q, Du Y P. Anal. Bioanal. Chem. , 2010, 398(4): 1827~1832

22 Giese B, McNaughton D. J. Phys. Chem. B, 2002, 106(1): 101~112

23 Vrkic A K, Taverner T, James P F, O'Hair R A Z. Dalton Trans., 2004, 21(2): 197~208

24 Basu S, Jana S, Pande S, Pal T. J. Colloid Interface Sci., 2008, 321(2): 288~293

Detection of Nucleic Acid Bases by Surface Enhanced Raman Scattering Technique Based on in-situ Photo-reduced Silver Colloids

WU Lei¹, LI Hai-Chao², ZHAO Hai-Feng¹, SUN Yu², XU Hao-Ran¹, LU Ming¹,

YANG Chun-Hua⁴, LI Wen-Zhao¹, LI Zheng-Qiang^{*1} ¹(Key Laboratory for Molecular Enzymology and Engineering, Ministry of Education, Jilin University, Changchun 130012) ²(College of life Science, Jilin Univisity, Changchun 130012) ³(Changchun City Illness Defend Control Center, Changchun 130033) ⁴(Changchun Medical College, Changchun 130013)

Abstract The formation of colloids induced by laser irradiation was proved by the means of Raman scattering, UV-Vis spectrum and transmission electron microscopy (TEM). The Raman signal of nucleic acid bases was slightly enlarged due to the surface-enhanced Raman scattering activity brought by the aggregation of silver atoms. Furthermore, the experiment results showed that the Raman spectra with high signal to noise ratio and with good repeatability could be obtained by this method and the Raman spectra of nucleic acid bases obtained were similar to those obtained in Lee-Meisel silver colloid and on silver membrane surface. Although there were some new peaks and shifts in our Raman study, the classical characteristic peaks could also be found and used to identify different species. Due to its simple operation, SERS (Surface Enhanced Raman Scattering) of colloids prepared by photo-reduced silver nitrate was of great application value in the in situ detection of small molecules.

Keyword Photo-reduction reaction; Silver colloidal; Surface enhanced Raman scattering; Detection of nucleic acids bases

(Received 25 November 2010; accepted 16 March 2011)

《热分析与量热仪及其应用》(第二版)

该书系统地介绍了各类热分析与量热仪的原理、基本结构、元件和单元;各类热分析与量热仪及标志仪器性能的各项指标,表征实验数据质量的各项参数;影响实验结果的各种因素和各项标准实验方法;数据库的建立、维护与查询,以及计算机病毒的一般性常识;并以聚合物、药物和矿物为例,列举了典型应用,以及微量量热技术在诸多方面的应用;仪器的常见故障处理等。该书可供热分析与量热学科研与技术人员阅读,也可供大专院校、科研单位、工厂等有关人员参考。

该书(ISBN 978-7-122-09689-0)由化学工业出版社出版,刘振海、徐国华、张洪林 编著,定价 39.0元。