

文章编号: 2095-4980(2015)01-0174-05

光寻址空间光调制器技术

贾卓, 刘浩, 邓意峰, 邓宏

(电子科技大学 电子薄膜与集成器件国家重点实验室, 四川 成都 610054)

摘要: 空间光调制技术广泛应用于阈值开关、高速光互连、光逻辑运算等领域, 对光信号的实时快速寻址有极高的要求。与电寻址方式相比, 光寻址采用并行寻址, 速度快, 分辨率高, 具有更大的优势。但在实际应用中, 如何实现快速稳定的光寻址成为空间光调制的关键。本文以 ZnO 薄膜作为光导层, 构造光寻址液晶空间光调制器, 更好地实现了对读出光光强和相位的二维空间分布的调制。

关键词: ZnO 薄膜; 光寻址; 液晶空间光调制器

中图分类号: TN321⁺.5

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201501.0174

Optically-addressing spatial light modulation technology

JIA Zhuo, LIU Hao, DENG Yifeng, DENG Hong

(State Key Laboratory of Electronic Thin Films and Integrated Devices, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu Sichuan 610054, China)

Abstract: The Spatial Light Modulation(SLM) technology has been widely applied to the fields of threshold switch, high speed optical interconnection and optical logic operations, which demands good performance on the real-time and fast optical signal addressing. Compared with Electro-Addressing SLM(EA-SLM), Optically-Addressing SLM(OA-SLM) shows great advantages of fast speed and high resolution by parallel addressing. Nevertheless, how to achieve fast and stable optically addressing is the key point in practice. Based on ZnO thin film as a photoconductive layer, Liquid Crystal OASLM(LC-OASLM) is designed and fabricated; the modulation of the readout light intensity and phase distribution in the two-dimensional space is achieved effectively.

Key words: ZnO thin film; optically-addressing; Liquid Crystal Optically-Addressing Spatial Light Modulation (LC-OASLM)

空间光调制技术是指能够根据外界信号的变化来对传输光进行控制的一项技术, 被广泛应用于光通信和光学信息处理等领域中。空间光调制器(SLM)是空间光调制技术的直接体现者。按照写入信号的不同, 可分为“光寻址”和“电寻址”; 根据读出信号方式的不同, 又分为“反射式”和“透射式”^[1]。光寻址液晶空间光调制器(LC-SLM)作为其中一种, 摆脱了电寻址方式调制器中控制信号只能串行输入的劣势, 采用并行寻址技术, 速度快, 分辨率高, 在光信息处理、互联、运算中具有更大的优势^[2-3]。但在实际应用中, 光寻址过程的写入信号和读出信号之间存在着相互干扰现象, 而且传统光寻址 LC-SLM 的紫外光敏层通常使用 BSO(硅酸铋)或 CdS(硫化镉), 价格都非常昂贵。相比之下, ZnO 具有优良紫外光电导特性、储量丰富、制备简单且容易做到大尺寸等优点, 若能用于制备 SLM 的光电导层将具有十分重要的意义。然而 ZnO 薄膜在紫外光照下存在氧吸附/解析慢响应^[4], 对紫外光响应缓慢, 薄膜结构疏松, 液晶有可能通过晶粒间隙渗透到对向, 引起“短路”, 缩短器件寿命。先前的一些学者^[5-6]研究表明, 掺 Cu 可使 ZnO 薄膜的光学禁带变窄, 实现对蓝紫光的响应, 也可以使薄膜致密性增加, 但是过量的 Cu 掺杂又会恶化薄膜结晶质量。因此, 我们尝试用低掺 Cu 的 ZnO 薄膜(ZnO:Cu 薄膜)作为光导材料, 波长 400 nm 以上的蓝紫光代替紫外光作为调制器写入光, 规避或者减小氧气氛的影响, 实现薄膜快速稳定光响应, 这样既能实现快速光寻址, 提高分辨率, 又能防止“短路”, 为制备高性能空间光调制器提供可能。

收稿日期: 2013-11-25; 修回日期: 2014-03-20

基金项目: 中央高校基金资助项目(ZYGX2013J041); 电子薄膜与集成器件国家重点实验室基金资助项目(KFJJ201303)

本文从研究掺 Cu 对 ZnO 薄膜光电响应特性的影响出发，利用射频磁控溅射，在 ITO 上沉积纯 ZnO 薄膜和 ZnO:Cu 薄膜，首先研究 ZnO:Cu 薄膜蓝紫光的响应特性，其次利用 ZnO:Cu 薄膜作为光导材料构建 LC-SLM，研究 ZnO:Cu 基空间调制器对近红外读出光的调制。

1 实验

采用纯度为 99.9% 的 ZnO 粉和纯度 99.9% 的 CuO 粉为原料，通过高温烧结制得纯 ZnO 和掺 Cu 的 ZnO 陶瓷靶，采用射频溅射工艺，在 O₂/Ar 比为 70 sccm:70 sccm 气氛中，在透明 ITO 导电玻璃上利用射频溅射沉积不同掺杂浓度 ZnO 薄膜，腔体本底真空 2×10⁻³ Pa，衬底温度 450 ℃，溅射功率 100 W，溅射时间 4 h。

在 ITO 薄膜和 ZnO 薄膜上制备金属电极，形成欧姆接触，做成蓝紫光响应器件，如图 1 所示。测试在固定光功率(160 mW)和固定直流偏压(8 V)下的响应时间曲线。测试光源为宁波远明激光技术有限公司生产，型号 LSR405NL-200 的蓝紫光激光器，波长为 405 nm±5 nm，输出功率为 0~260 mW。

利用 ZnO:Cu 薄膜作为光导材料，构建透射式 LC-SLM。从图 2 中可以看到，ZnO:Cu 薄膜和液晶(ZnO:Cu-LC)夹在 2 层 ITO 导电玻璃之间，交流驱动电压加载在 ZnO:Cu-LC 层上，液晶层两端的电压遵从阻抗分压规律。采用蓝紫光(中心波长为 405 nm)作为写入光源，近红外光(中心波长为 1 064 nm)作为读出光，ZnO:Cu 薄膜作为调制器的光导材料，液晶为工作物质，对信号光束进行调制。实验中所用光调制器的制备组装和测试平台均由实验室项目合作组提供。

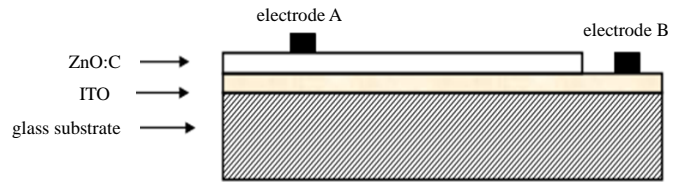


Fig.1 Structure of blue-violet device
图 1 蓝紫光响应器件结构图

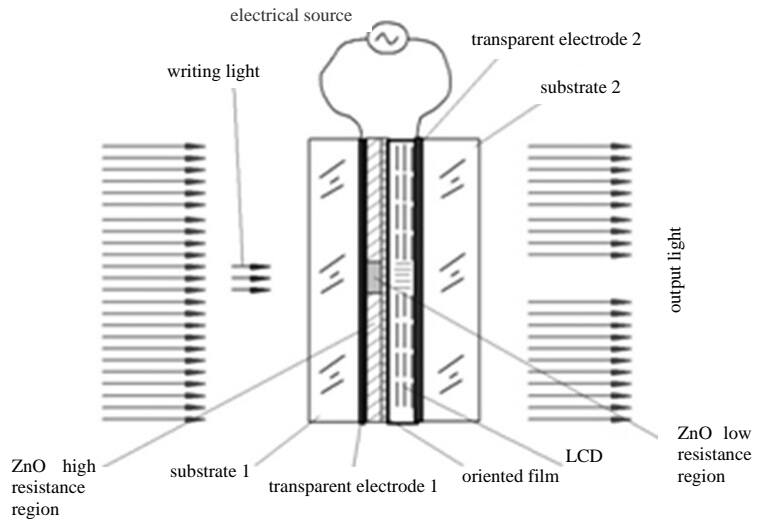


Fig.2 Structure of transmission-mode photoconductive LC-SLM
图 2 透射式光导型 LC-SLM 结构

2 实验结果与讨论

2.1 ZnO 薄膜 XRD 分析

图 3 为不同 ZnO 薄膜的 XRD 图，从图中可以看出，纯 ZnO 薄膜样品(a)和 Cu 掺杂 ZnO 薄膜样品(b)在 2θ 为 34.43°附近均出现了一个很强的对应(002)晶面的衍射峰，其他的(103),(004)晶面的衍射峰相对(002)晶面则很弱，表明 Cu 的掺入没有改变 ZnO 的晶体结构，而且表现出明显的 C 轴择优取向。ZnO:Cu 薄膜与纯 ZnO 薄膜相比，衍射峰更强，半高宽更小，具有更好的结晶质量和结构性能。这可能是由于当 ZnO 薄膜中掺入适量浓度的 Cu 时，Cu 原子会以间隙缺陷的形式存在于薄膜中，并与 Zn 原子一起分享 O，从而增强了薄膜的结晶取向^[6]。

2.2 ZnO 薄膜的表面形貌分析

图 4 为不同 ZnO 薄膜的 SEM 形貌图。从图中可以看出，纯 ZnO 薄膜表面比较平整，晶粒尺寸很小，晶界数目大，薄膜中还存在着一些颗粒，结构比较致密。ZnO:Cu 薄膜的晶粒尺寸变大，但数量大幅减小，晶界减少，很多晶粒聚集在一起形成了大颗粒，薄膜致密性增加，表面较为平整，结晶质量高。这与 XRD 的分析结果一致。

2.3 ZnO 薄膜的透光谱分析

图 5 为不同 ZnO 薄膜的透射光谱曲线。结果显示，不同样品在可见光区的透过率均在 80%左右，纯 ZnO

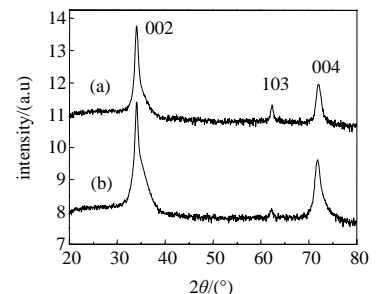


Fig.3 XRD patterns of samples for different values of Cu (pure ZnO (a), ZnO:Cu (b))
图 3 不同 ZnO 薄膜 XRD 图(纯 ZnO 薄膜(a), ZnO:Cu 薄膜(b))

薄膜在 380 nm 附近出现了较为陡峭的紫外吸收边, 进行 Cu 掺杂后, 薄膜在 390 nm 附近出现了紫外吸收边, 可见, 吸收边向长波方向移动, 出现红移。这一现象表明, Cu 的掺入减小了 ZnO 的光学禁带宽度。

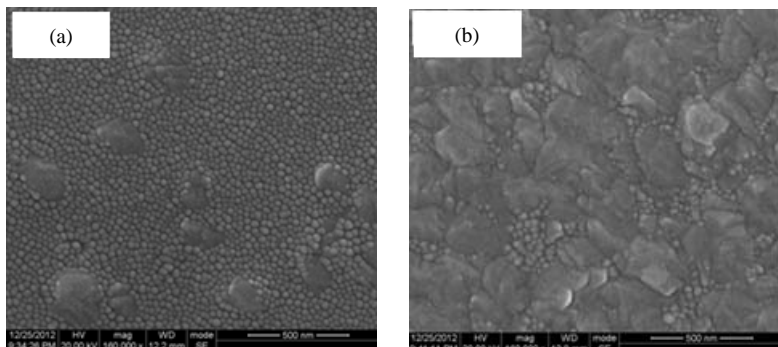


Fig.4 SEM photos of different ZnO films (pure ZnO (a), ZnO:Cu (b))
图 4 不同 ZnO 薄膜的 SEM 形貌图(纯 ZnO 薄膜(a), ZnO:Cu 薄膜(b))

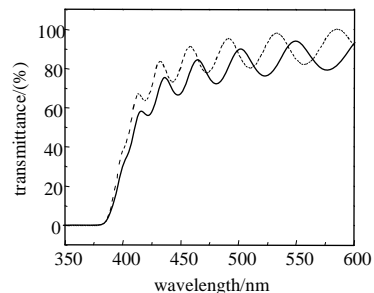


Fig.5 Transmission spectrum of different ZnO films(dash line for pure ZnO, solid line for ZnO:Cu)
图 5 不同 ZnO 薄膜的透光光谱曲线(虚线为纯 ZnO 薄膜, 实线为 ZnO:Cu 薄膜)

2.4 ZnO 薄膜的时间响应特性表征

图 6 为不同 ZnO 薄膜在固定光功率(160 mW)和固定电流偏压(8 V)下的响应时间曲线。从图中可以看出, 在无光和有光条件下, 2 个样品均表现出很大的电导率变化和良好的脉冲响应特性, ZnO:Cu 薄膜电导率变化更为显著。出现这种现象的原因可能是: 在薄膜中掺入适量的 Cu, 以间隙态存在, 增加薄膜结晶取向, 薄膜的结晶质量不断提高, 致密性增加, 晶界散射降低, 有利于载流子在薄膜中的迁移^[7]。这种特性与图 3、图 4 中的薄膜的结构分析是一致的。

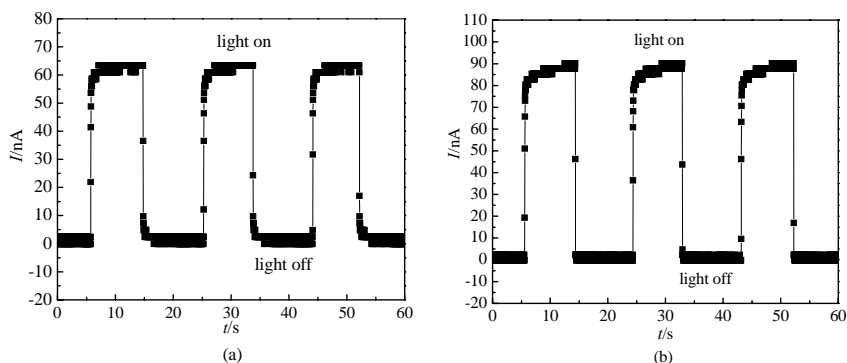


Fig.6 Response time curves of different ZnO films (pure ZnO (a), ZnO:Cu (b))
图 6 不同 ZnO 薄膜的响应时间曲线(纯 ZnO 薄膜(a), ZnO:Cu 薄膜(b))

图 7 为不同 ZnO 薄膜的光响应时间。2 个样品均表现出了对波长为 405 nm 蓝紫光的响应, 其中, 纯 ZnO 上升响应时间在 100 ms 左右, 下降响应时间在 40 ms 左右; ZnO:Cu 薄膜的上升响应时间在 80 ms 左右, 下降响应时间在 38 ms 左右, 表明 ZnO:Cu 薄膜既能实现较长波长激光下的光电导, 又能使 405 nm 的蓝紫光能量达不到氧吸附/光解析的能量, 有效避免慢响应机制, 实现电子-空穴对产生和复合快速响应机制, ZnO:Cu 薄膜具有制备蓝紫光快速响应器件的优势。

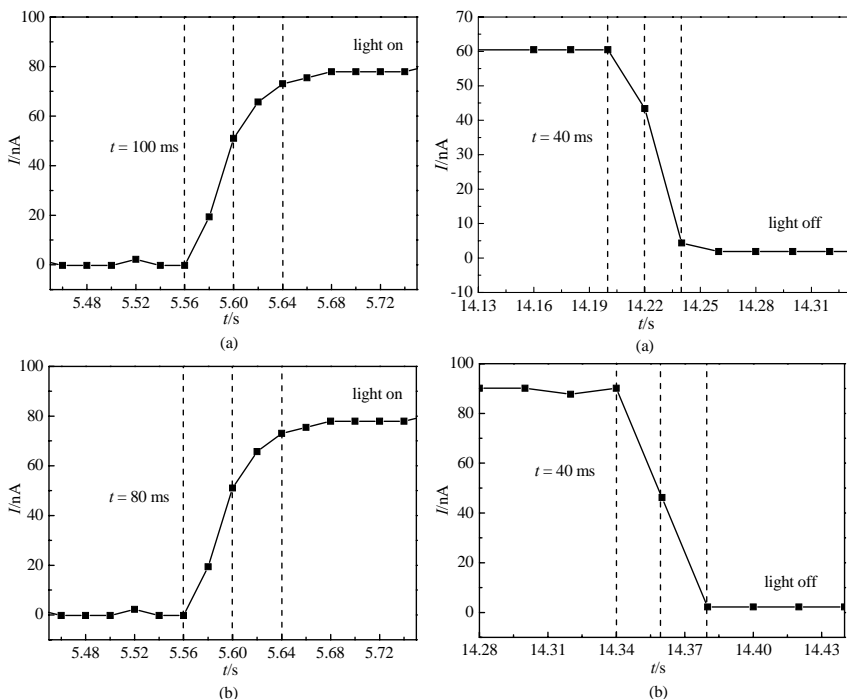


Fig.7 Response time of different ZnO films (pure ZnO (a), ZnO:Cu (b))
图 7 不同 ZnO 薄膜的响应时间(纯 ZnO 薄膜(a), ZnO:Cu 薄膜(b))

2.5 ZnO:Cu 薄膜在液晶空间光调制器中应用的性能测试与分析

基于 ZnO:Cu 薄膜在蓝紫光照射下快速的光响应特性及其很好的致密度, 利用 ZnO:Cu 薄膜作为光导电

层，搭建透射式空间光调制器，如图 8 所示。用蓝紫光作为写入光源，对近红外光的信号进行光调制。

测试之前，器件表面本身呈黄色。测试中，近红外读出光在蓝紫光的作用下，经过 SLM 调制，在调制器的中心位置出现一红色区域，在其周围还交替分布着红色、黄色和浅绿色的不规则圆环。器件表面的红色区域为输出光，是读出光在写入光的作用下经 SLM 调制后得到的。器件表面的浅绿色区域可能是由于写入光与读出光相互干扰造成的，也可能是由于薄膜材料的电导率分布不均匀而间接导致的。测试表明，ZnO:Cu 基 LC-SLM 对近红外光光强的二维空间分布具有较好的调制作用，且液晶没有渗透到对向电极，没有出现光导薄膜的“短路”现象。依据液晶两端的电压遵从阻抗分压规律，当调制器上有蓝紫光照射的地方，ZnO:Cu 薄膜的电阻明显减小，由于薄膜与液晶在电路中的串联关系，所以对应位置的液晶分压高，液晶分子在电场作用下发生偏转，直到垂直基板排列。通过这种方式，写入光信息通过 ZnO:Cu 光导薄膜转化成液晶两端电信号，由于液晶存在电控双折射效应^[8-9]，所以不同分压下液晶层对读出光的透过率和光程差也不一样，从而实现了近红外光强和相位的二维空间分布的调制。

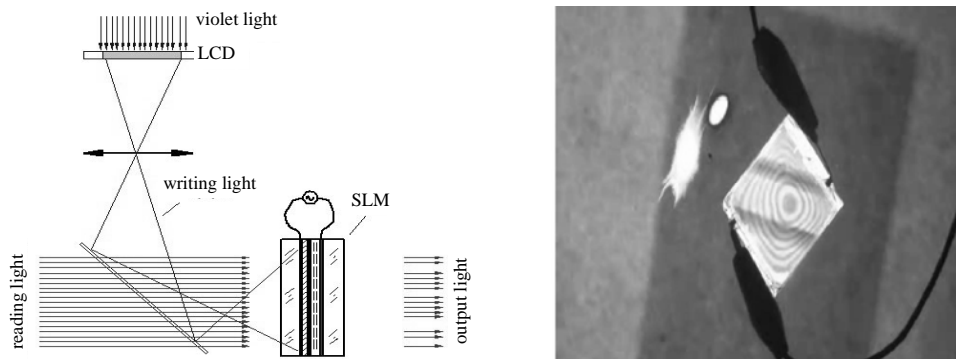


Fig.8 Structure of ZnO:Cu-based transmission-mode photoconductive LC-SLM and result of optical addressing
图 8 ZnO:Cu 基透射式空间光调制器架构及其寻址效果图

3 结论

采用磁控溅射在 ITO 上沉积 ZnO:Cu 薄膜，进行光电性能测试以及 ZnO:Cu 薄膜在 LC-SLM 中应用的初步研究。研究表明：利用蓝紫光代替紫外光可使 ZnO 薄膜实现稳定快速的光响应。ZnO:Cu 薄膜具有很好的致密性，在 LC-SLM 中 ZnO:Cu 薄膜的阻抗特性和蓝紫光响应特性一直表现良好，没有出现液晶渗透到对向电极的光导薄膜“短路”现象。将 ZnO:Cu 薄膜作为 LC-SLM 的光导材料，利用光谱较窄的蓝紫光作为写入光，近红外光作为读出光，可有效避免写入、读出信号的相互干扰，很好地实现对近红外光的光强和相位的二维空间分布的调制。

参考文献：

- [1] 李育林,赵明君,王昭. 二维实时空间光调制器[J]. 光电子·激子, 1993,4(4):220-229. (LI Yulin,ZHAO Mingjun,WANG Zhao. The light modulator of real-time two-dimensional space[J]. Photoelectron-Exciton, 1993,4(4):220-229.)
- [2] 谢建辉. 氧化锌基液晶空间光调制器的关键技术研究[D]. 成都:电子科技大学, 2011:1-5. (XIE Jiehui. The key technology research of Zinc oxide-based liquid crystal spatial light modulator[D]. Chengdu,China:University of Electronic Science and Technology of China, 2011:1-5.)
- [3] 王启明. 液晶空间光调制相位调制特性研究及其应用[D]. 杭州:浙江大学, 2008:1-23. (WANG Qiming. The research and application of liquid crystal spatial light modulators' phase modulation[J]. Hangzhou,China:Zhejiang University, 2004, 40(31):59-60.)
- [4] Sharma P,Sreenivas K. Analysis of ultraviolet photoconductivity in ZnO films prepared by unbalanced magnetron sputtering[J]. J. Appl. Phys., 2003,93(7):3963-3970.
- [5] Ghosh T,Dutta M,Mridha S,et al. Effect of Cu doping in the structural, electrical, optical, and optoelectronic properties of Sol-Gel ZnO thin films[J]. Journal of the Electrochemical Society, 2009,156(4):285-289.
- [6] 唐鑫. 掺杂 ZnO 稳定性和电子结构的第一性原理[D]. 大连:大连理工大学, 2008:63-68. (TANG Xin. The stability of doped ZnO and the first-principles electronic structure[D]. Dalian:Dalian University of Technology, 2008:63-68.)
- [7] CHEN Y,XU X L,ZHANG G H,et al. A comparative study of the microstructures and optical properties of Cu- and Ag-doped ZnO thin films[J]. Phys. B., 2009,404(20):3645-3649.

- [8] 王宁,李国华,云茂金. 液晶电控双折射特性的研究[J]. 中国激光, 2002,29(12):1064-1066. (WANG Ning,LI Guohua, YUN Maojin. The research of LCD's electronic control birefringence[J]. China Laser, 2002,29(12):1064-1066.)
- [9] 赵阶林,任广军. 液晶电控效应的实验研究[J]. 液晶与显示, 2006,21(4):384-387. (ZAO Jielin,REN Guangjun. The experimental study of the electric effect of LCD[J]. LCD Display, 2006,21(4):384-387.)

作者简介:



贾 卓(1983-), 男, 山西省运城市人, 在读硕士研究生, 主要从事氧化锌材料的研究.
email:514486860@qq.com.

刘 浩(1990-), 男, 河北省保定市人, 在读硕士研究生, 研究方向为氧化锌材料.

邓意峰(1991-), 男, 成都市人, 在读硕士研究生, 主要从事氧化锌材料的研究.

邓 宏(1963-), 男, 四川省江油市人, 教授, 主要从事氧化锌材料的研究.

UAV SHOW CHINA 2015

尖兵之翼 第六届中国无人机大会暨展览会

2015年 北京

中国无人机从此飞向世界

"尖兵之翼——中国无人机大会暨展览会"自2006年起, 由高博特公司发起、策划并实施, 得到众多权威机构和无人机制造及应用领域者的大力支持和帮助, 已成为我国无人机行业的知名品牌, 为无人机领域管、产、学、研、商、用单位提供了优质的交流平台、展示平台、交易平台。

经过8年的积淀尤其是2014年的洗礼, 从行业覆盖、客户质量、展品质量、观众数量、成交额、参展商满意度等方面更证明了"尖兵之翼"品牌的价值。为紧跟技术进步, 引领行业发展, 让航天、电子、兵器等行业融入无人机大舞台,"尖兵之翼——中国无人机大会暨展览会"自2015年起改为一年一届, 期间还将围绕无人机的应用举办不同主题的交流展示飞行活动, 希望得到大家继续支持。






电话: 010-88587506 88587507 网址: www.gobetter.com.cn www.gbt863.com E-mail: gbt@gobetter.com.cn

