

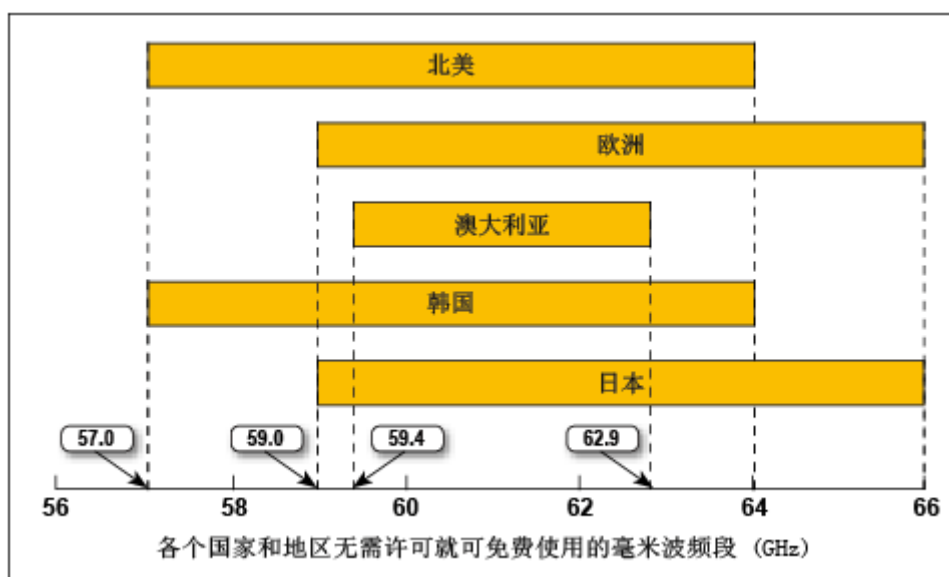
Tags: [WLAN](#) | [带宽](#) | [无线传输](#) | [无线网络](#)

导言： 基于 IEEE802.11n 协议的无线局域网已经达到 300Mb/s 的传输速率，但这仍不是极限。60GHz 的毫米波将把无线数据传输速率推进到 Gb/s 级别。同时，基于高清图像传输用途的无线接口也选择了这一波段。60GHz 毫米波，承载起未来无线高速公路的希望。



正由卫星通讯等途径全面普及到我们的生活之中

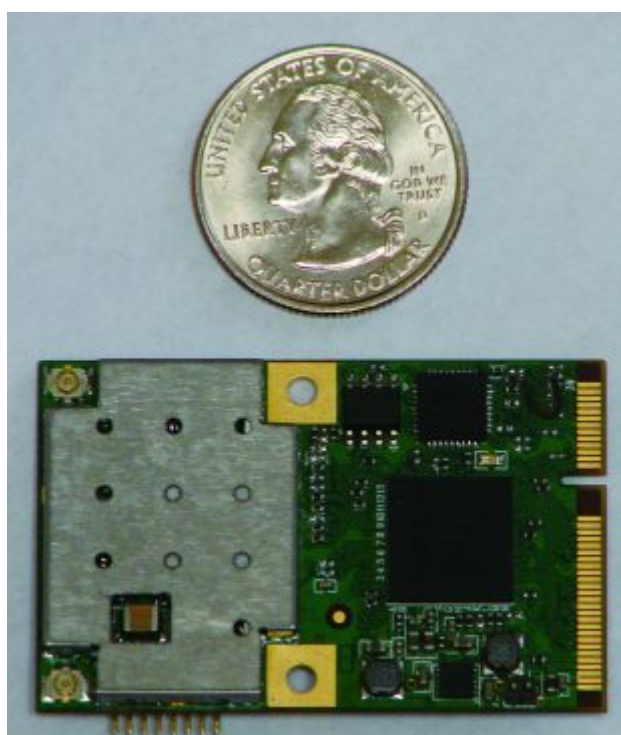
第一个普及的 Wi-Fi 标准——IEEE802.11b 支持最大 11Mb/s 的传输速率，IEEE802.11g 则支持 54Mb/s 的传输速率，使用 MIMO 技术速率还可进一步提高。此后，IEEE802.11n 将这一规格提升到了 300Mb/s——这是我们目前应用的最快的无线网络。这 3 种无线网络都工作在 2.4GHz 和 5GHz 频段，波长为厘米数量级。这一频段可以承载的数据量较大，天线设计方便，传输距离足够长，因此是较为理想的无线局域网频段。不过随着局域网数据交换需求的不断提升，特别是全高清视频传输的需求，很可能用不了多久，我们就需要在局域网内部传输上百 GB 乃至 TB 级别的数据，基于厘米波技术的无线局域网将无法满足高速传输海量数据的要求。此外，现有的无线传输方案，比如蓝牙、红外等普遍存在着数据传输速度慢、使用不便的问题，比如著名的 iPod 就因此一直没有搭载无线传输技术，iPod Touch 最快的无线连接方式则是 Wi-Fi。从 21 世纪初开始，科学家们对基于毫米波，特别是 60GHz 频段毫米波无线通讯技术的研究取得了丰硕的成果，在不久的将来，基于 60GHz 无线传输技术的无线局域网、无线高清接口乃至专用数据传输系统将我们的生活带来更多便利。



60GHz 无线传输技术的特点

60GHz 无线数据传输技术为何受到诸多厂商青睐？它拥有哪些特性？在本节中，我们将为大家介绍最新的 60GHz 无线数据传输技术。

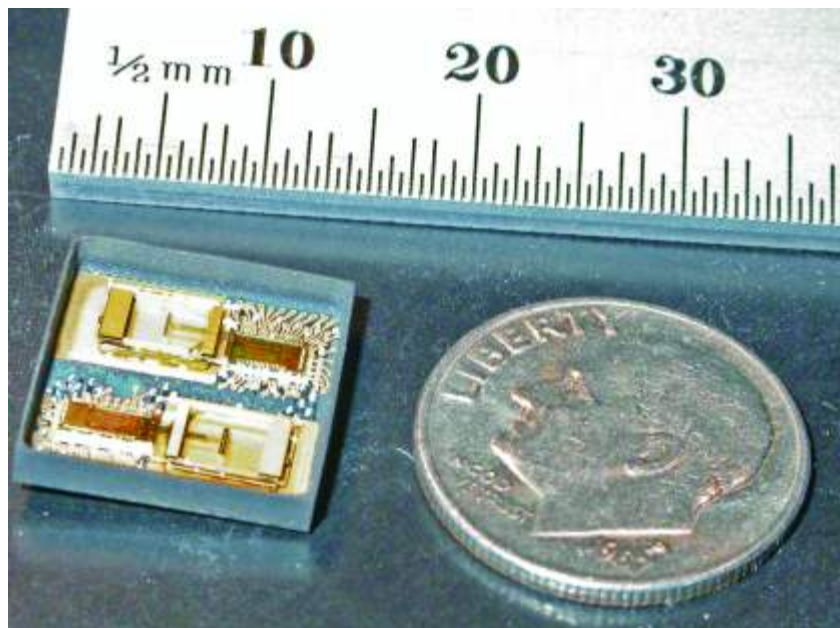
更高的带宽



供笔记本电脑使用的 WHDI 模块，它是 Wireless HD 的竞争者之一，好处是体积小，但在性能上落于下风。

60GHz 无线数据传输技术广受欢迎的一个最重要的原因就是 60GHz 频段拥有更多的可用带宽。在 60GHz 频段范围内，各国无需许可就可免费使用的带宽大约为 7GHz~9GHz，Wireless HD 标准可在此范围内使用 4 路带宽为 2160MHz 的信道，如此大的带宽可以提供较高的数据传输速率。与之相比，IEEE802.11 a/b/g/n 使用的 2.4GHz 频段和 5GHz 频段提供的 20MHz 或 40MHz 信道，仅有前者的 1/100~1/50。即使采用低阶调制的方式，60GHz 毫米波传输也可以达到 3Gb/s~5Gb/s 的水平，这是目前的 WLAN 在厘米波频段难以做到的——尽管采用 MIMO 等技术，目前的 IEEE802.11n 无线网络也难以突破 Gb/s 大关。NEC 公司元件平台研究所主任研究员丸桥建一表示：“要实现数 Gb/s 以上速率的唯一方法就是利用毫米波。”利用毫米波传输技术，无线网络的速度将超越目前电脑平台上广泛采用的千兆有线网络，将成为网络发展史上的里程碑。

体积小



IBM 展示的用于 1080p 视频传输的毫米波射频芯片。

与微波元件相比，毫米波元件的尺寸要小得多，这对于电子设备，特别是手机、移动硬盘等本身体积不大的产品而言很有意义。在汽车防撞雷达和卫星通讯等用途上，毫米波芯片体积小优势已经发挥得淋漓尽致。比如 2006 年日本飞斯卡尔展示的一款面向毫米波雷达的射频芯片，在展台前还专门放置了显微镜供参观者观赏该芯片的构造。而 2007 年 IBM 和 MediaTek 研发展出的一款用于高清视频传输的无线射频芯片，连上外部封装的尺寸也不过 12mm 见方，还不如一枚硬币大。这样大小的芯片即可完成 1080p 视频的高速传输——在 5s 内传送大约 10GB 文件。如果把这种芯片装在便携式高清摄像机中，用户丝毫不会感受到体积和重量的增加，而使用的便利性却可以大幅度提高。

抗干扰能力强



冲印刷电路试制的 60GHz 频段带状线滤波器。

目前，2.4GHz 频段使用最为广泛，大量无线设备和无线技术都使用该频率，而水和金属都会对这一频段造成干扰，微波炉的微波也恰好在这一频段。相比之下，60GHz 的毫米波数据传输虽会因空气中的氧吸收而造成衰减，但其可用带宽较大，因此它的抗干扰能力更强。此外，毫米波的波束较窄，方向性好，定向传输时相互之间的干扰也可被大大降低。由于 60GHz 毫米波在大气中传输的衰减较大，数据传输距离一般不超过 10m，因此在组建无线局域网方面还需要经过一些特殊的技术手段。好在 60GHz 频段允许的发射功率较大，比如美国规定 60GHz 技术可以发射高达 39dBm 的等效全向辐射功率（EIRP），传输距离未来也不会成为影响此技术的绊脚石。

成本降低前景

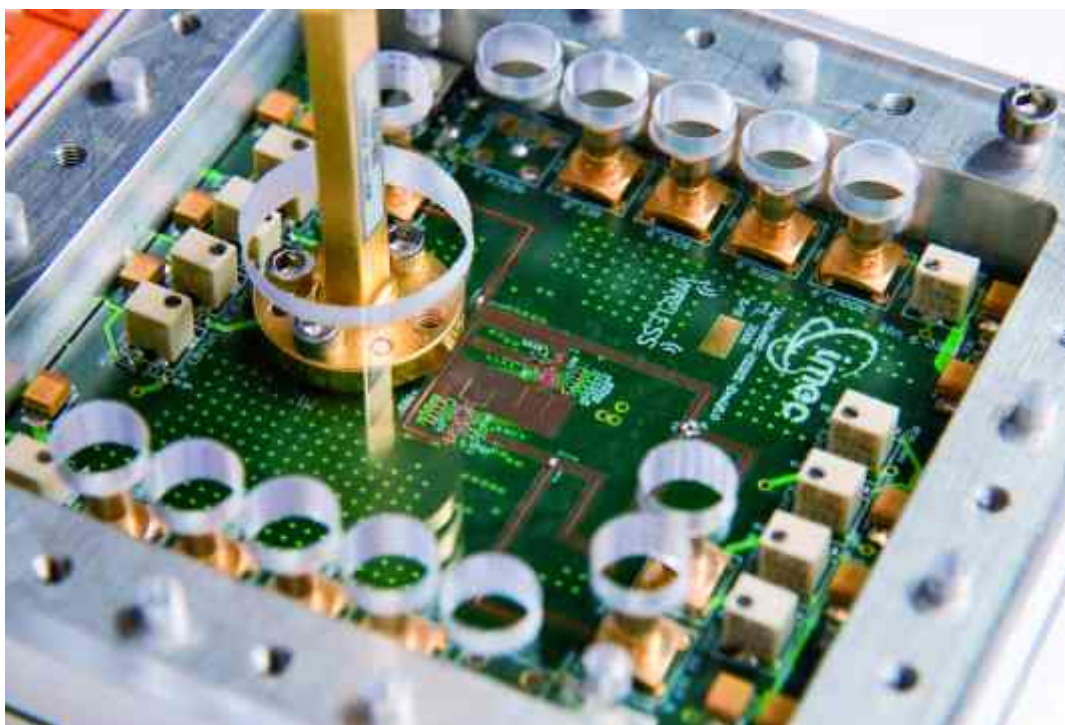
由于毫米波属于高频无线技术，因此芯片和相关电路的制造技术需要高成本的特殊工艺，而且需要特殊的元件和封装。这导致了毫米波无线芯片收发电路等制造成本较高，相关的其他成本也居高不下，用途只能被限定在一些特殊场合。此前，毫米波射频芯片是利用砷化镓（GaAs）材料或硒化锗（GeSe）等 IIIA-VA 族半导体晶圆来生产的，它们比硅基半导体更适合高频工艺，但不幸的是，这些半导体芯片的价格都相当昂贵：一套用于传输高清节目的毫米波芯片售价达到数百美元，这无疑很难普及。不过，通过科学家的努力，毫米波射频芯片也可以用 CMOS 工艺来生产，使用硅基晶圆可以有效地降低毫米波芯片的成本。在相关的大学、研究机构和公司的努力下，利用 SiGe（硅锗）半导体来制造毫米波射频芯片已经不存在技术障碍。2004 年，加州大学伯克利分校的 Ali. M. Niknejad 教授课题组完成了世界上第一个基于 CMOS 工艺的 60GHz 放大器，这一成果发布在 ISSCC 2004 会议上，并获得了“Technology Directions Award”。加州大学伯克利分校无线技术研究中心的测试表明，基于 90nm CMOS 工艺的晶体管 f_T 超过 100GHz（布线后测试）， f_{max} 远远超过 200GHz。晶体管在 60GHz 可以实现 8.5dB 的最大稳定增益以及超过 12dB 的单向增益，也可以实现 3dB~4dB 的最小噪声系数（间接测量）；而单个器件在 60GHz 可以实现大约 10mW 的输出功率。据此，他们对具备 1GHz 带宽信道的 60GHz 毫米波芯片运用于便携式设备（假设天线增益较低）的 60GHz 链路进行了相关的链路预算，认为链路损耗小于 80dB，这样的链路损耗对应的传输距离大约为 4m 左右。到 2008 年和 2009 年的相关会议上，发表的成果已经大多基于 CMOS 电路设计，显示了毫米波无线芯片技术在这方面已经获得了显著进展，比如比利时鲁汶大学 IMEC 在 ISSCC2009 上报道的低成本和低功耗的 45nm CMOS 工艺 60GHz 通信芯片方案。该 60GHz 组件采用台积电（TSMC）45nm 制程的标准数字 CMOS 技术制造，以益华（Cadence）的标准工具开发，天线与天线接口则采用 IMEC 的专有技术。IMEC 智能系统技术办公室副总裁 Rudy Lauwereins 表示，第一款 60GHz 商品可能是 HDTV 系统类产品。它将根据 HDMI 协议，通过 16 个天线在 10m 的范围内传送未压缩的高清影像。这一完整接收器的功耗仅为 1.6W。

除了在芯片等方面降低成本外，日本的冲印刷电路公司也在日前报道了可用普通印刷电路工艺制造的 60GHz 频段毫米波用印刷电路板。此前毫米波电路需要用特氟隆底板来制造，并需要经过 350℃ 左右的高温处理，工艺较为复杂，价格也相当高。此次冲印刷电路公司报道的是使用日油公司的接枝聚合物介电体底板“GELITE”试制的 60GHz 频段带状线滤波器。利用同样的技术，也可以制造分配器和天线等，可用于 60GHz 频段毫米波高速 WLAN 设备。预计这一技术可将实现毫米波电路的成本降到一半左右。

绕过障碍物

60GHz 的毫米波容易被氧气吸收，也会被障碍物所阻挡。对于前者可以采用增大发射功率、采用增益天线或增加中继站来解决，而后者则必须依赖特殊的技术，其中最令人感兴趣的是相控阵天线技术。2010 年 5 月，IBM 和 MTK（联发科）在 IEEE 电子射频集成电路研讨会上展示了联合开发的 60GHz 收发芯片，该器件采用 BiCMOS 硅锗工艺，速度极快的双极型晶体管采用 SiGe 工艺以产生 60GHz 频率，芯片其余部分则采用标准 CMOS 工艺，毫米波天线也被集成在标准封装中。IBM 和 MTK 采用军事应用的相控阵雷达技术，可使信号穿过阻拦。IBM 研究院 T. J. Watson 表示，该芯片拥有低成本的多层 16 位带宽的阵列天线，可以覆盖 60GHz 的 4 个频段。这款芯片还拥有一项特殊的算法，可对每个信号提供可替代路线，因此当信号突然阻断后，芯片可以很快地切换传输路线，目前证明，在 5Gb/s 的传输速率下，毫米波能够可控地“绕过”障碍物。

UWB 的终结者



IMEC 在 ISSCC2009 上发表的 45nm RF front-end IC（附天线和天线模块）。

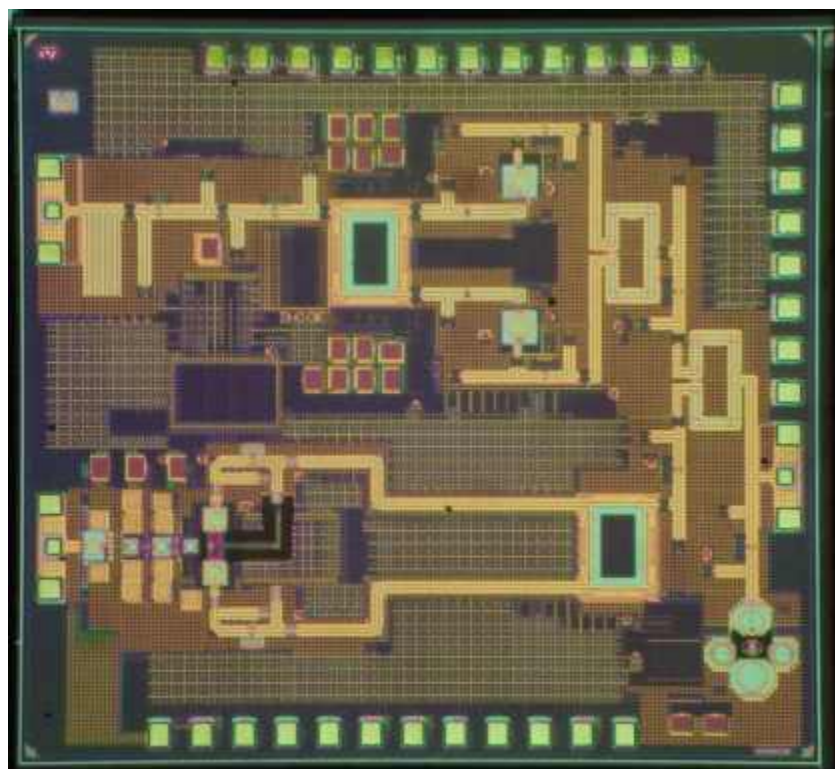
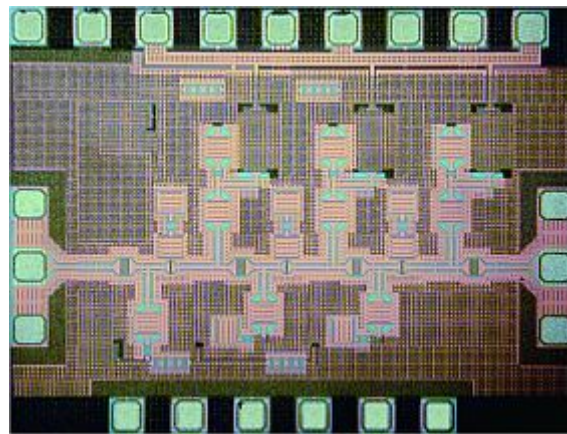
数年前，UWB 技术（超宽带）作为下一代高速无线数据传输技术的有力候选者，曾经引起了业界的广泛关注，以该技术为基础的 Wireless USB 等接口被认为可以很快普及。不过，由于欧洲、美国和日本对于无线超宽带通讯的严格管制以及 UWB 标准的争端，UWB 技术的普及之

路早已变得铺满荆棘。从 2008 年开始，多家从事 UWB 技术研究的公司已经相继倒闭或合并，英特尔等大公司也放弃了推进 UWB 技术的努力，WiMedia Alliance 则已经宣告寿终正寝。与之相反，60GHz 无线传输技术的数据传输率和传输距离都超过 UWB，在业界的支持方面更显示出了令人乐观的前景。大多数分析师认为，到 2013 年，UWB 技术将在消费类电子领域销声匿迹，而 60GHz 无线传输技术则将进入快速发展期。

60GHz 无线传输技术的应用

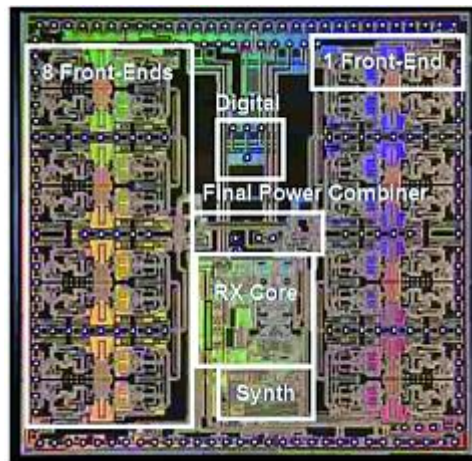
60GHz 无线传输技术是目前最受瞩目的高速无线传输技术。随着 WiGig 与 Wi-Fi 达成合作，下一代 WLAN 采用 60GHz 毫米波已成定局，而在高清影像传输领域，各大厂商的产品已经纷纷上市。

60GHz 无线传输技术的两大阵营



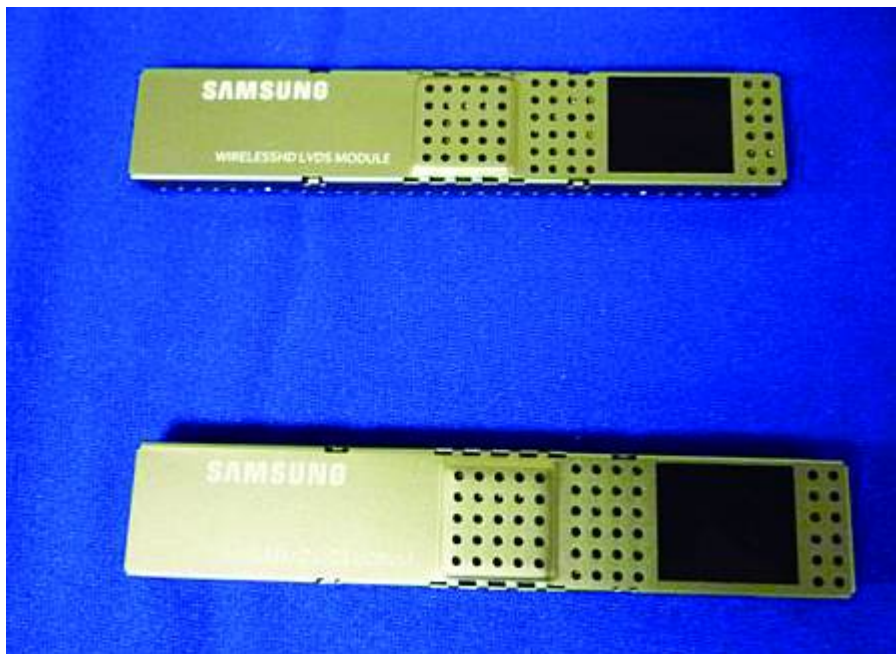
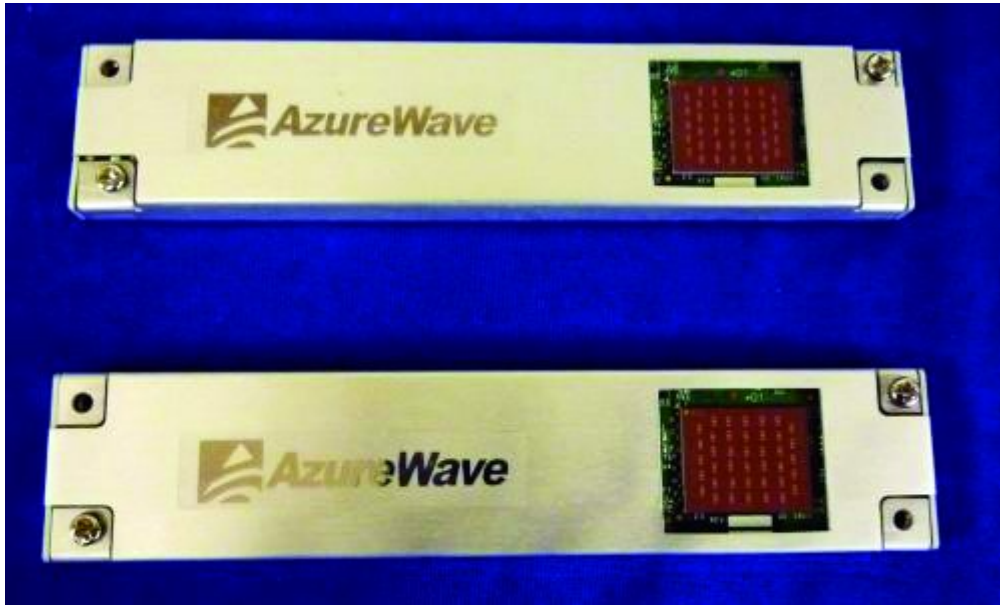
Niknejad 教授课题组成果：世界上第一个 CMOS 工艺的 60GHz 放大器芯片（上）和 2009 年时能效最高的 CMOS 工艺转换器电路（下）。

如同光存储那样，用于消费电子类产品的 60GHz 无线传输技术也分为两个阵营，一是 WiGig（无线 G 比特）联盟，二是 WirelessHD（无线高清）集团，他们之间的主要业务领域有所区别，但也存在重复之处。WiGig 由英特尔、诺基亚、Atheros 等 15 家企业于 2009 年创建，主要关注电脑与其他设备的连接——包括平板电视；而成立于 2005 年的 WirelessHD 集团则以平板电视和投影等显示设备为核心，主要关注它们与高清数据源的连接——当然也包括电脑。一些分析人士担心，两个团体的争斗会影响 60GHz 无线传输技术的普及。不过，两大阵营的主要组成者中，我们可以看见相同的名字——比如英特尔和 SiBEAM 等等，因此我们可以乐观地认为，二者之间并不会存在太大分歧，而是以兼容为主。这样的苗头目前已经出现：2010 年 5 月，SiBEAM 公司宣布，推出全球首个 WirelessHD/WiGig 解决方案 SB8110 WirelessHD/WiGig 射频收发器以及相关 SK8100 开发工具包，基于 WirelessHD 和 WiGig 标准的 SB8110 于 5 月上市，而 SK8100 工具包则于 6 月推出。SB8110 WirelessHD/WiGig 射频收发器支持单载波和 OFDM 调制方案，并可用于开发 WirelessHD 或 WiGig 单模产品或 WirelessHD/WiGig 双模产品。SK8100 开发工具包包括 SB8110 WiGig 射频收发器以及所有的支持系统和集成电路文件。未来还将有更多的类似产品出现。



IBM 和 MTK 联合开发的 60GHz 接收器芯片的核心照片，核心面积 6.08mm×6.2mm。

高速 WLAN 接班者



Azureware 和三星使用 SiBEAM 公司芯片方案制造的 WirelessHD 收发模块。

此前 Wi-Fi 联盟支持的最快的无线传输技术基于 IEEE802.11n 协议，速度大约 300Mb/s，而在 IEEE802.11n 正式标准于 2009 年 9 月揭晓时，它的接班人也几乎做好了准备：2009 年 12 月，第一版 WiGig 标准确立，WiGig 1.0 可以在 60GHz 频段上实现 7Gb/s 的超高速无线传输，速度是 IEEE802.11n 的十几倍。它还引入了波束赋形技术及安全机制和功耗管理，可支持 10m~20m 以上的可靠通信，并能够传输 HDMI 和 DisplayPort 的信号，MAC 层则与现行的 WLAN 标准通用。2010 年 5 月，WiGig 联盟和 Wi-Fi 联盟达成了 Gbit 无线网络的合作协议，双方将共享技术规范，用以开发下一代 Wi-Fi 联盟认证项目，该项目将支持 Wi-Fi 在 60GHz 频段下工作，并支持 WiGig 兼容设备切入到 Wi-Fi 的 2.4GHz 或 5GHz 频段的能力。这意味着 IEEE802.11n 之后，Wi-Fi 将选择基于 60GHz 毫米波无线传输技术的 802.11ad 作为事实上的接班者。到 2010 年 5 月中旬技术规格提案截稿时，以英特尔和 NICT 为中心的小组提交了两个技术方案。英特尔的方案以该公司推进的 WiGig 规格为基础，NICT 的方案则以 IEEE802.15.3c 标准为基础。两个方案的相似性很

强，例如每通道的带宽均为 2160MHz，单载波时的取样速度均为 1760MHz，多载波时的取样速度均为 2640MHz。此外，前导符（Preamble）长度、OFDM 的 FFT 大小以及一次调制方式等也非常相似。为了早日实现标准化，加盟 802.11ad 的企业及团体在内部对方案作了调整，以形成统一方案。在 2010 年 5 月 16 日于北京举行的 IEEE802.11 会议上，双方达成了一致。预计一年左右，我们就可看到支持这些规范（向下兼容 IEEE802.11n 以及 IEEE802.11b/g 等）的实际产品。



在 CES 2010 上演示的两台笔记本电脑利用 WirelessHD 进行双向数据传输。

高清影像传输



松下演示的 60GHz 无线通信。

利用 60GHz 毫米波作为载体传输无损的高清影音的尝试早在数年前就开始进行，2005 年，日、美、韩等三国七家厂商成立了 WirelessHD 联盟，制订使用 60GHz 的毫米波作为载体，采用

无损方式传输 Full HD 信号的规范。到 2008 年 2 月，Wireless HD 1.0 最终完成。Wireless HD 支持的带宽可以达到 5Gb/s 左右，延迟则很低，足以应付以 60fps 进行全高清无线传输的需要。不过它的传输距离较短，仅为大约 10m，而且不能穿透墙壁，更适合用于“In Room”的无线传输用途。在 CES 2009 上，松下、东芝等厂商展示了采用 Wireless HD 传输方式的电脑和平板电视，它们都采用 SiBEAM 公司的芯片方案，从 2009 年初开始，支持 WirelessHD 的平板电视已经相继上市。2010 年，SiBEAM 进一步推出了采用 65nm（此前采用 90nm）工艺的第二代 WirelessHD 解决方案，它通过优化设计、削减天线数量等手段进一步降低了成本。SiBEAM 公司总裁兼首席执行官 John E. LeMoncheck 满怀信心地表示：“2009 年面世的支持 WirelessHD 的电视机只有高端产品。到 2011~2012 年前后，基带 LSI 将被集成到电视机的 SoC 之中，成本有望进一步降低，WirelessHD 将会配备到低端产品中。”此外，在 2010 年 CES 展会上，还展出了大量支持 WirelessHD 的组件和设备，比如高清 3D 电视、蓝光播放机等等，一款可以安装于蓝光光驱上的 WirelessHD 组件的售价仅为 99 美元，现场讲解员称这是“非常有挑战性的价格”。在 2010 年的台北 Computex 上，华硕公司则展示了两款配备了 SiBEAM 公司 WirelessHD 芯片的笔记本电脑，它们可以直接将高清视频传输到配备 WirelessHD 技术的平板电视上。

在 2010 年 CES 展会上，SiBEAM 公司还披露了目前正在制定的 WirelessHD 新一代标准。新一代标准中预计包括：对 3D 模式 HD 影像及 4K×2K 影像的正式支持，在数据传输之外增加高达 1Gb/s 的双向通信功能等。该公司称，由于要支持 3D 模式 HD 影像及 4K×2K 影像之类要求有更高数据传输速度的影像格式，因此计划将最大数据传输速度提高到 28Gb/s。SiBEAM 目前正在开发支持 WirelessHD 新一代标准的芯片组。该公司在 CES 会场内的实际演示中展示了部分开发成果：将利用 FPGA 构成的信号收发板卡分别接入 2 台笔记本电脑，通过计划新增加的双向通信功能进行数据交换——这多少显示了 WirelessHD 的野心：未来，WirelessHD 还将扩展平板电视以外的应用。



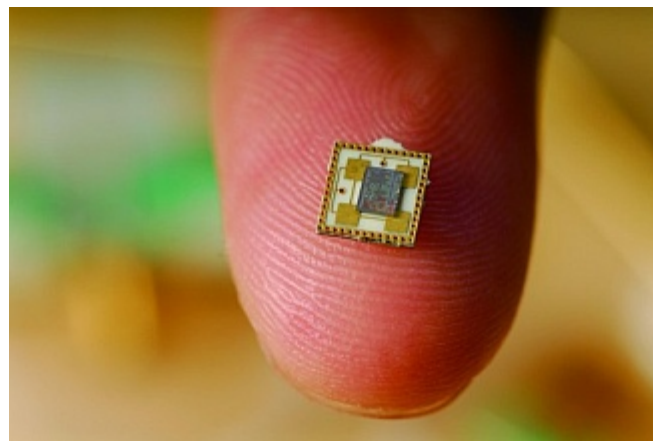
东芝开发的 60GHz 单芯片无线 IC。

WirelessHD 在高清影像传输领域还面临着 WHDI（详见 2009 年 9 月前沿技术）的挑战，WHDI 使用 5GHz 频段，虽然在传输速率方面不及 WirelessHD，但它的传输距离更远，穿墙能力也更佳。此外，WHDI 芯片的价格也更便宜，以色列 Amimon 公司 2009 年推出的 WHDI 发送芯片价格为 20 美元，接收芯片价格为 25 美元。此外，美国 Cavium 公司也开发了使用 IEEE802.11n

进行压缩的 1080P 图像传输的芯片，延迟小于 1ms。不过从技术发展的潮流来看，WirelessHD 无疑占据着优势。

其他潜在用途

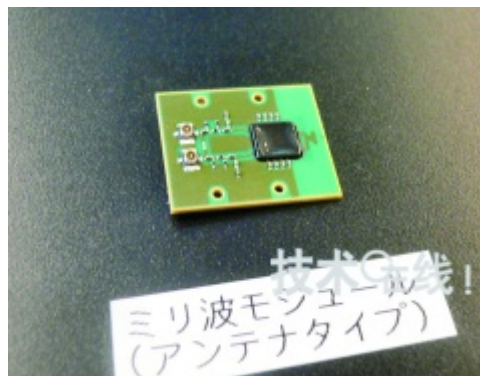
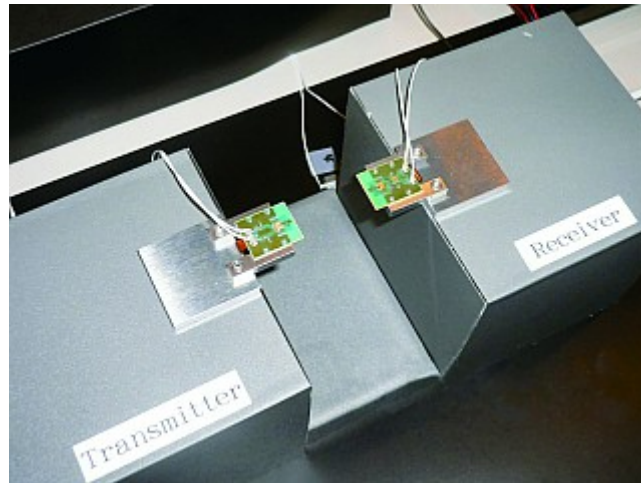
除了配备于平板电视和蓝光播放机外，手机、摄像机、数码相机、上网本和电脑等也将是 60GHz 无线传输技术（不局限于 WiGig）的平台。比如松下公司在 2009 年的“家庭内无线系统相关研讨会”上演示了使用 60GHz 无线技术的数据传输方案。松下认为，使用简易调制方式等手段，可以在手机平台上应用。在同一展会上，东芝还展示了以半导体芯片的键合线为天线的毫米波通信 IC，它采用 CMOS 技术且不需要专用天线，适于单芯片化。东芝的目标是“数字产品完全无绳化”，并对毫米波通信寄予了厚望。目前还有多家机构从事小型的 60GHz 单芯片的研究，比如佐治亚理工学院的研究人员在 2009 年初宣告试制了一款采用 CMOS 工艺内嵌天线的 60GHz RF 芯片，它的尺寸仅有手指尖大小，能耗仅为 100mW 左右，却能够用数 Gb/s 的速度传输数据：1m 内数据传输速度可达 15Gb/s，2m 内为 10Gb/s，5m 内为 5Gb/s。研究人员利用这款芯片成功地演示了传输 720p 和 1080i 的高清影像的例子。



佐治亚理工学院开发的单芯片内嵌芯片的 RFIC

无线 USB、蓝牙等无线连接方案也在考虑使用 60GHz 无线传输技术作为载体。在对 UWB 技术失望后，蓝牙 SIG 已经准备投向 60GHz 的怀抱，并且对 60GHz 无线传输的方案进行了评估。而尽管无线 USB 因为 UWB 技术的挫折而一次次推迟，但未来仍有很好的发展前景，如果 USB 联盟决定采用 60GHz 无线技术，他们将获得可媲美 USB3.0 接口速度的解决方案。

60GHz 无线传输技术还可以用于设备内部的数据直接传输。在 2010 年 ISSCC 会议上，索尼报道并演示了使用 60GHz 毫米波传输代替电路板布线技术，该系统可在 20mm~60mm 的距离内确保 4.3Gb/s 的数据传输速度。此外，它采用在印刷底板上印刷形成的天线来代替单芯片方案常用的键合线型天线，能够进一步提高传输距离。索尼认为这样做的好处是可以降低平板电视等大型设备内部布线的难度，除了可提高底板上芯片布局的自由度之外，还可实现三维设置，甚至还能够降低整机的成本。



演示中的毫米波设备内传输技术（上）和毫米波天线模块（下）。

CHIP 结论

毫无疑问，在下一代高速无线传输技术中，60GHz 毫米波已经拔得头筹。特别是在 WLAN 领域，它已经成为 IEEE802.11n 的接班者，在高清影像传输方面，WirelessHD 已经实用化，并拥有良好的发展前景，也许再过两三年，我们会进入无线传输的 Gb 时代——那将是真正的无线高速公路。

（发表于 CHIP《新电脑》2010 年 8 期）转载请注明出处及期号