

用弹道电子发射显微术研究超薄 金属硅化物/硅肖特基接触*

茹国平 屈新萍 竹士炀 李炳宗

(复旦大学电子工程系, 上海 200433)

摘要: 采用弹道电子发射显微术(BEEM)技术对超薄 PtSi/Si、CoSi₂/Si 肖特基接触特性进行了研究, 并与电流-电压($I-V$)及电容-电压($C-V$)测试结果进行了对比。研究了 Ar 离子轰击对超薄 PtSi/n-Si 肖特基接触特性的影响。BEEM、 $I-V/C-V$ 技术对多种样品的研究结果表明, $I-V/C-V$ 测试会由于超薄硅化物层串联电阻的影响而使测试结果产生严重误差; BEEM 测试则不受影响。随着离子轰击能量增大, 肖特基势垒高度降低, 且其不均匀性也越大。用 BEEM 和变温 $I-V$ 对超薄 CoSi₂/n-Si 肖特基二极管的研究结果表明, 变温 $I-V$ 测试可在一定程度上获得肖特基势垒在整个界面上的不均匀性信息, 但它依赖于假设的势垒高度分布模型; BEEM 测试则可直接获得金-半接触界面的肖特基势垒高度, 近似为高斯分布。

关键词: 肖特基势垒; 弹道电子显微术; 硅化物; 离子轰击

PACC: 7330; 7340N; 0780; 0750

中图分类号: TN311⁺.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2000)08-0778-08

Ultra-Thin Metal-Silicide/Si Schottky Contacts Studied by Ballistic Electron Emission Microscopy*

RU Guo-ping, QU Xin-ping, ZHU Shi-yang and Li Bing-zong

(Department of Electronic Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Received 24 July 1999, revised manuscript received 5 November 1999

Abstract: Ballistic Electron Emission Microscopy (BEEM) is a novel technique to study metal/semiconductor interface. The BEEM technique was used to study ultra-thin PtSi/Si, CoSi₂/Si Schottky contacts. The results are compared with those from current-voltage ($I-V$) and capacitance-voltage ($C-V$) techniques. For ultra-thin PtSi/n-Si diodes, the Si substrate is bombarded by Ar⁺ ions with different energy

* 国家自然科学基金资助项目(批准号 69776005)和国家科委—比利时弗兰德科技部合作资助项目[Project Supported by National Natural Science Foundation of China Under Grant No. 69776005 and by Cooperation Foundation Between Scientific and Technical Ministries of China and Belgium].

茹国平 男, 1968 年出生, 博士, 副教授, 从事微电子薄膜研究。

屈新萍 女, 1972 年出生, 博士, 从事微电子薄膜研究。

竹士炀 男, 1969 年出生, 博士, 讲师, 从事 SOI 材料的制备、特性分析等研究。

1999-07-24 收到, 1999-11-05 定稿

before metal deposition. The BEEM, $I-V/C-V$ measurements of ultra-thin PtSi/n-Si diodes show that $I-V/C-V$ results are strongly influenced by the considerable series resistance of the ultra-thin silicide layer; while the BEEM measurement will not and the true Schottky contact properties can be obtained. BEEM results show that the Schottky barrier height of PtSi/n-Si decreases with the increase of the Ar^+ ion bombardment energy. BEEM and variable-temperature $I-V$ measurements of an ultra-thin CoSi₂/n-Si Schottky diode show that Schottky barrier inhomogeneity can be inferred from variable-temperature $I-V$ results and depends on the model for the barrier height distribution; on the contrary a Schottky barrier height distribution can be obtained directly by BEEM technique. The distribution of SBH is nearly Gaussian.

Key words: Schottky barrier; Ballistic Electron Emission Microscopy(BEEM); silicide; ion bombardment
PACC: 7330; 7340N; 0780; 0750

Article ID: 0253-4177(2000)08-0778-08

1 引言

金属硅化物在当前超大规模/甚大规模(VLSI/ULSI)集成电路工艺中已获得广泛应用。随着集成电路进一步向小尺寸、细线条方向发展,对于硅化物也提出了新的要求。随着CMOS器件源漏结深的减小,要求自对准形成的硅化物厚度必须相应减薄,以保证结特性不致退化^[1,2]。除了用于集成电路接触与互连外,硅化物另一个重要应用是硅化物/硅肖特基红外探测器^[3]。理论和实验研究结果表明,要获得高的量子效应,硅化物必须很薄。对于PtSi/Si肖特基二极管(SBD)红外探测器,PtSi的最佳厚度在3—5nm之间^[4]。随着硅化物厚度减薄,一些在硅化物厚膜中未受注意的问题变得重要起来。超薄硅化物的形成和特性等将更多地受到界面及其附近区域的影响,如反应离子刻蚀和离子磨削等工艺会影响硅化物固相反应规律,改变硅化物/硅接触界面的电学特性^[5—7]。随着硅化物厚度减小,这种影响将变得越来越显著。关于如何制备均匀、连续的超薄硅化物,已有一些文献报道^[8,9]。对于这种超薄膜,特别是其与Si接触界面,一些常用测试手段不足以对其进行有效的表征分析。这是因为多数测试技术,或者只能探测到表面信息(如俄歇电子能谱等),或者需要较厚的膜(如各类衍射方法)。透射电子显微术(TEM)可以观察断面形貌,但是断面TEM样品制备复杂,对样品是破坏性的,且观察范围也有限,这些限制了其在超薄硅化物薄膜表征上的大量应用。

在众多表征金属硅化物/硅界面特性的指标中,肖特基势垒高度(SBH)是最重要的特征指标之一,是决定肖特基接触器件特性的关键参数,如SBD红外探测器的截止波长完全决定于SBH。常用的测量金-半接触SBH的方法有电流-电压法($I-V$)、电容-电压法($C-V$)和光响应谱等^[10]。在超薄硅化物/硅接触中,由于薄层电阻大,用探针接触 $I-V$ 测试时正向 $I-V$ 特性显示出很大的串联电阻,这使得指数上升段范围变得很窄,造成拟合得到的SBH有较大的误差。当SBD的串联电阻过大时, $C-V$ 测量中提取的电容也与串联电阻有关,从而影响测量结果。光响应谱由于在零偏下测量,串联电阻不会对结果产生影响。但是,所有这些方法测量得到的都只反映了金-半界面的宏观特性。

近年研究结果表明,通常的金-半接触SBH在整个界面上并不是均匀的,SBH存在着某种分布;局域SBH与界面结构存在密切关系,只有理想外延的金-半接触在整个界面上才具有一个均匀统一的SBH^[11]。Tung通过比较外延NiSi₂/Si(111)A型和B型结构的SBH特性,首次从实验上观察到了SBH与金-半接触的界面结构有关^[12]。实验和理论研究都表明,SBH的不均匀对肖特基势垒二极管的许多特性都会产生不良影响,如使低温或/和小偏压下漏电增大,肖特基红外探测器的噪声增大等。通过 $I-V$ 测量结果与 $C-V$ 测量结果对比,可在一定程度上获得SBH分布^[13]。但这种方法是间接的,它依赖于SBH分布的假设模型以及不均匀SBH的输运模型。尽管已提出一个比较成功的夹断(pinch-off)模型^[14],不均匀SBH的电流输运仍是一个没有完全解决的问题。

八十年代末发展起来的弹道电子发射显微术(BEEM)作为一类具有高分辨率的成像技术,是一种对金-半界面的肖特基接触特性进行微区分析的新方法^[15,16]. BEEM 是一种非破坏测试技术. 实验装置如图 1(a) 所示, 它利用一个偏压下的扫描隧道电子显微镜(STM)探针(Tip)在超薄金属-半导体接触的表面进行扫描时, 测量通过金-半界面的电流. 在偏压下 STM 探针(又称发射极)会通过隧道效应向金属(又称基极)发射热电子, 当金属层厚度薄至可以与热电子的平均自由程相比拟时, 一部分热电子会以弹道输运的方式到达金属-半导体界面. 这时若外加偏压大于 SBH, 则其中的某些弹道电子可越过肖特基势垒, 被半导体(又称收集极)收集, 形成收集极电流(又称 BEEM 电流), 其能带原理如图 1(b) 所示. 图 1(c) 显示了隧道电流恒定时收集极电流随探针偏压变化的关系, 即弹道电子发射谱(BEES)^[17]. 当偏压小于某一阈值(约为 SBH)时, 收集极电流为零; 当偏压大于这一阈值时, 收集极电流以平方或 5/2 次方的方式增加^[18,19]. 由于横向动量守恒的要求, 弹道电子穿越金-半界面时具有非常好的方向性, BEEM 测量结果反映了局域 SBH 的特性, 因此通过 BEEM 扫描或逐点测量, 可以获得 SBH 在整个宏观界面上的分布.

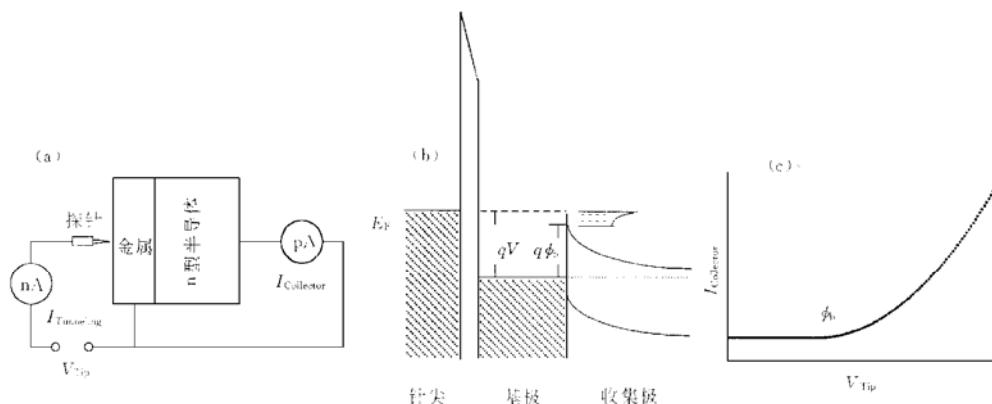


图 1(a) 弹道电子发射显微镜(BEEM)装置示意图;(b) BEEM 能带原理图;(c) 弹道电子发射谱(BEES)

FIG. 1 (a) Schematic Set up of BEEM Experiment, (b) Corresponding Energy Level Diagram, and (c) Ballistic Electron Emission Spectrum

鉴于超薄 PtSi/Si、CoSi₂/Si 接触在肖特基红外探测器和 ULSI 方面有着重要应用, 本文利用 BEEM 技术研究超薄 PtSi/n-Si 和超薄 CoSi₂/n-Si 的接触特性, 并与 $I-V/C-V$ 测试结果进行比较.

2 实验

2.1 样品制备

为了定量控制 SBH 的改变, 我们采用离子磨削技术对衬底进行刻蚀清洗. 具体过程如下, 将经过 RCA 清洗的电阻率为 $5\text{--}8\Omega \cdot \text{cm}$ (掺杂浓度约为 $1 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$) 的 n 型 Si(100) 衬底置于离子束溅射仪中的靶位, 分别用 300、500、700、1000、1500eV 的 Ar 离子束进行磨削, 离子束流为 $1\text{mA}/\text{cm}^2$, 磨削时间为 5min^[20,21]. 再经过 RCA 清洗后, 将样品置于直流磁控溅射仪中淀积 Pt 膜, 同时以未经离子磨削的 Si 衬底作对比陪片. 淀积时真空度为 $133.332 \times 10^{-4}\text{Pa}$, 淀积 Pt 膜的厚度约为 50nm. 采用两步退火加选择腐蚀的方法形成超薄 PtSi/n-Si 肖特基接触^[8]. 第一步采用 $250^\circ\text{C}/1\text{min}$ 在氮气保护下快速热退火(RTA), 然后用稀释的王水($\text{HNO}_3 : \text{HCl} : \text{H}_2\text{O} = 3 : 23 : 40$) 进行选择腐蚀, 再经 $450^\circ\text{C}/1\text{min}$ 进行第二步退火形成超薄 PtSi($\sim 3\text{nm}$)/n-Si 接触. 然后在背面蒸发 100nm Ti 膜作为欧姆接触, 把它们切割成 $4\text{--}10\text{mm}^2$ 的小片, 进行 $I-V/C-V$ 和 BEEM 测试.

在硅衬底上应用 Co/Si 固相反应形成均匀 CoSi₂ 薄膜^[20]. 超薄 CoSi₂/n-Si SBD 的制备方法是: 先在

SiO_2 光刻图形片上淀积 2.5nm 的 Co 膜, 然后用 $600^\circ\text{C}/1\text{min}$ 进行快速热退火, 经选择腐蚀后形成自对准超薄 $\text{CoSi}_2(9\text{nm})/\text{n-Si}$ 接触, 同样在背面蒸发 100nm Ti 膜, 形成可以测量的 SBD.

2.2 BEEM 测试

BEEM 测试在 AIVTB-4B Surface/Interface 仪器上, 在大气和室温下进行, STM 探针为 PtIr 探针. BEES 测试在恒定电流模式下进行, 隧道电流固定为 8nA . 为了提高信噪比, 通常每条 BEES 的记录是通过重复扫 10—80 次获得的. 为了获得 SBH 分布, 则通常需在一个样品上测量任意 200 个点的 BEES.

$I-V$ 测试在直流下进行, $C-V$ 测试在高频 ($10\text{kHz}, 100\text{kHz}, 1\text{MHz}$) 交流下进行, 通过测量 SBD 的复阻抗获取电容.

3 结果和讨论

3.1 PtSi/n-Si 接触

图 2 为衬底未经离子磨削和经 300、500、1000eV Ar 离子磨削的超薄 PtSi/n-Si 接触的 $I-V$ 正向特性. 根据 SBD 热发射模型, 并将串联电阻影响考虑在内, 在偏压 $V > 3k_B T/q$ 时, $I-V$ 关系可表达为^[10]

$$I = aA^{**} T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{k_B T}\right) \exp\left(\frac{q(V - IR_s)}{nk_B T}\right) \quad (1)$$

式中 a 为二极管的面积; A^{**} 为 Richardson 常数; k_B 为玻耳兹曼常数; T 为温度; $q\phi_b$ 是势垒高度; n 是理想因子; R_s 是串联电阻. 用(1)式对实验点进行拟合, 可得 ϕ_b, n, R_s , 如表 1 所示.

从 $I-V$ 拟合结果可以看出, 势垒高度 $q\phi_b$ 明显低于通常文献报道的 PtSi/n-Si SBH 值 ($0.8\text{--}0.9\text{eV}$), 同时理想因子 n 也较大. 这可能由以下两个原因造成: 第一个原因是串联电阻过大而影响了拟合范围. 由于我们在 $I-V$ 测试中采用探针接触方式, 当金属层(这里为硅化物层)很薄时, 可以证明 $I-V$ 测试中的串联电阻 R_s 与硅化物的薄层电阻 R_{sh} 密切相关, 对于厚度为

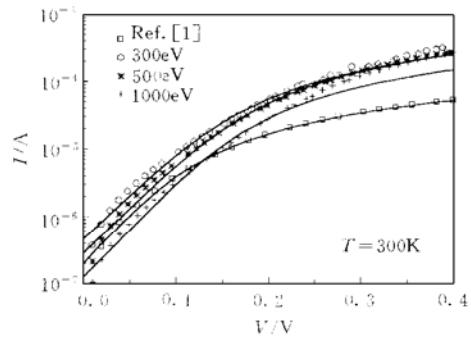


图 2 衬底未经离子磨削和经 300、500、1000eV 的 Ar 离子磨削的超薄 PtSi/n-Si SBD 的 $I-V$ 正向特性

FIG. 2 $I-V$ Forward Characteristic of Ultra-Thin PtSi/n-Si SBD

表 1 超薄 PtSi(3nm)/n-Si 接触的 $I-V, C-V$ 和 BEEM 测量结果

Table 1 $I-V, C-V$ and BEEM Results of Ultra-Thin PtSi(3nm)/n-Si Contact

E/eV	$I-V$			$C-V$		BEEM	
	$q\phi_b/\text{eV}$	n	R_s/Ω	$q\phi_b/(100\text{kHz})/\text{eV}$	$< q\phi_b >/\text{eV}$	$q\Delta\phi_b/\text{eV}$	
文献[1]	0.74	1.1	4.4×10^3		0.82	0.08	
文献[2]					0.83	0.06	
300	0.71	1.3	7.3×10^2	0.61	0.84	0.06	
500	0.73	1.3	6.8×10^2	0.78	0.83	0.09	
700					0.81	0.04	
1000	0.76	1.2	1.2×10^3	0.35	0.79	0.14	
1500					0.78	0.10	

3nm 的超薄 PtSi 层, 其 R_{sh} 非常大, 导致 R_s 也非常大. 虽然理论上可以认为(1)式严格地考虑了串联电阻效应, 但实际上, 对于电流强度主要受 R_s 限制的范围(即 $I-V$ 特性中较高偏压下的线性段), $I-V$ 关系近似地

为 $V \approx IR_s$, 也就是说这些范围内的实验数据对 Φ, n 拟合结果的影响很小, 真正对 Φ, n 拟合结果起决定作用的是 $I-V$ 特性中较低偏压下的指数段, 大串联电阻 R_s 使得 Φ, n 有效拟合范围变得很窄, 从而影响拟合结果的准确性. 第二个原因是经过离子磨削后形成的肖特基势垒存在着较大的不均匀性. 无论传统的平行电导模型^[13]还是最近提出的夹断模型^[14]都预言, $I-V$ 测量获得的表观 SBH 都要比 SBH 的算术平均值低, 而且不均匀性越大, 这种偏差越大; 另外根据夹断模型, SBH 不均匀性越大, 表观理想因子 n 也越大.

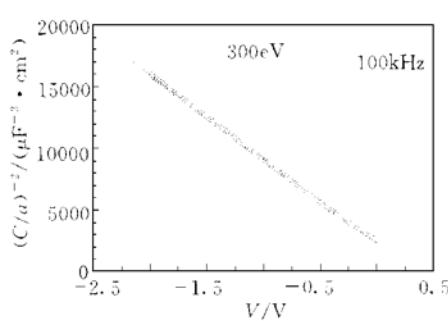


图 3 衬底经 300eV Ar 离子磨削的超薄 PtSi/n-Si SBD 在 100kHz 下的 $C-V$ 特性

FIG. 3 $C-V$ Characteristic of Ultra-Thin PtSi/n-Si SBD Under 100kHz Frequency

The Substrate has been ion-bombarded by 300eV
 Ar^+ ion before metal deposition.

的影响, 而如前所述, BEEM 是在零偏下测试的, 仅测量通过二极管的电流, 而不需要测量加在二极管上的电压, 因此 BEEM 可较好地避免超薄硅化物/Si 接触中大串联电阻的影响. 如引言所言, 通过 BEEM 扫描或逐点测量, 对 $I_e^{1/2}-V_i$ (即 V_{tp} , 针尖电压) 线性拟合, 并将热展宽修正考虑在内, 得到 Φ . 在每个样品上任意选取 200 多个点, 测量 BEES, 拟合得到 Φ , 再根据这些 Φ 值可画出每一个样品的 SBH 分布. 图 4(a)–(f) 分别为衬底未经离子磨削和经 300、500、700、1000、1500eV Ar 离子磨削的 PtSi/n-Si 的 SBH 的分布.

从图 4 可以看出, 超薄 PtSi/n-Si 接触的肖特基势垒高度存在不均匀性. 与 $I-V$ 结果相比较, BEEM 测量得到的 Φ 要大一些, 与通常报道的厚 PtSi/n-Si 接触的 Φ 值接近. 实验结果显示, SBH 与离子轰击能量有显著依赖关系: 离子轰击能量越大, 肖特基势垒高度不均匀性也越大^[21]. 由于存在着不均匀性, 因此严格来说这时已不能用某个 Φ 来表征整个界面了. 但在实际分析讨论中, 仍可选取它的算术平均值 $\langle q\Phi \rangle$ (列于表 1 中) 进行讨论, 因为我们发现, 在相同条件下制备两个样品 (如本文中的文献[1] 和 [2] 样品), 或同一个样品进行两轮独立测试, SBH 分布形状 (峰值和宽度) 也有一定的偏差, 但算术平均值 $\langle q\Phi \rangle$ 却能吻合得相当好. 图 5 为超薄 PtSi/n-Si 接触的 $\langle q\Phi \rangle$ 与离子轰击能量的关系. 从图中可以看到, 随着 Ar 离子轰击能量的增加, BEEM 测量得到的肖特基势垒高度平均值 $\langle q\Phi \rangle$ 明显减小, 这是因为离子轰击会在 Si 衬底表面形成一个高浓度的正电荷层, 引起 SBH 降低, 图中实线为我们用一个简单模型拟合得到的结果. 详细讨论可参阅文献[21] 和 [22].

3.2 CoSi₂/n-Si 接触

超薄 Co(2.5nm)/Si 经固相反应后形成多晶 CoSi₂ 薄膜. 图 6 为 82–331K 范围内超薄 CoSi₂/n-Si SBD 的 $I-V$ 特性. 在低温下 ($T < 275\text{K}$), $I-V$ 特性表现为双“阈值”. 低“阈值”(低偏压)部分是通过极少量低势垒小区域的电流所致, 高“阈值”部分是由通过较为均匀的高势垒区域的电流贡献所致^[24]. 用公式(1)可对 $I-V$ 特性高“阈值”部分进行拟合. 结果发现, 随着温度 T 下降, 拟合得到的表观势垒高度 Φ_p 变小, 这暗示 SBH 在界面上存在着一定的不均匀. 若 SBH 在整个界面上为一高斯分布, 即

$$\rho(\Phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \left[-\frac{(\Phi - \Phi_0)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (3)$$

图 3 为衬底经 300eV Ar 离子磨削的超薄 PtSi/n-Si SBD 在 100kHz 下的 $C-V$ 特性. 根据耗尽层模型, $C-V$ 关系可表达为:^[10]

$$(C/a)^{-2} = \frac{2}{qN_d\epsilon_s} \left[\Phi_b - \Phi_n - V - \frac{k_B T}{q} \right] \quad (2)$$

式中 N_d 为半导体的施主浓度; $q\Phi_n$ 为 n 型半导体费米势 (即费米能级到导带边距离). 通过对实验点 $C^{-2}-V$ 进行线性拟合, 由斜率可获得 N_d , 由横轴的截距可获得 Φ_b , 其值列于表 1. 从结果可以看出, 该值也小于通常报道值. 由 $C-V$ 得到的值显著依赖其测试频率, 当测试频率为 1MHz 时, 计算得到的 Φ_b 远大于 0.8–0.9eV, 不具有实际意义. 这是因为, 当 R_s 较大时, 表观电容 C_{ap} 是测试频率的函数^[23], 近似有 $C_{ap}^{-1} = C_{real}^{-1} + \omega^2 C_{real} R_s^2$, 导致最后拟合得到的 Φ_b 也依赖于频率.

从上面我们看出无论 $I-V$ 还是 $C-V$ 测试, 超薄硅化物/硅接触的大串联电阻都会对最后测试结果产生较大

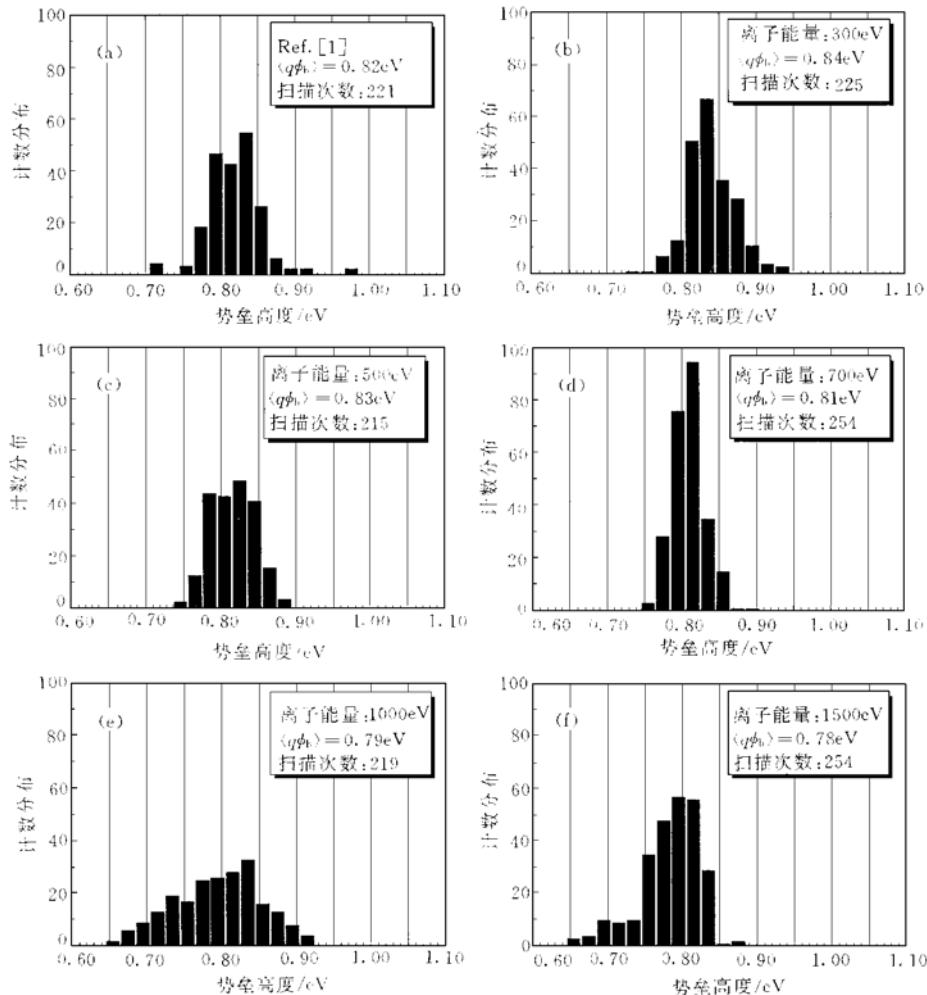


图4 硅衬底未经离子磨削和经 300、500、700、1000 和 1500eV Ar 离子磨削的 PtSi/n-Si 的 SBH 的分布

FIG. 4 Schottky Barrier Height Distribution of Ultra-Thin PtSi/n-Si Contacts with Si Substrate
not Treated (a) and by 300eV(b), 500eV(c), 700eV(d), 1000eV(e) and 1500eV (f)
 Ar^+ Ion Bombarded Before Metal Deposition

其平均势垒高度为 ϕ_{av} , 标准偏差为 σ , 高斯分布半高全宽(FWHM)为 2.35σ . 当 SBH 分布为高斯分布时, 表观势垒 ϕ_{ap} 与 T 存在着如下关系^[13]:

$$\phi_{ap}(T) = \phi_{av} - \frac{q\sigma^2}{2k_B T} \quad (4)$$

式中 ϕ_{av} 为 SBH 平均值. 用公式(4)对实验得到的 $\phi_{ap}-1/T$ 关系进行线性拟合, 其结果如图 6 中的插图所示, 得到 $\phi_{av} = 0.75\text{eV}$, $\sigma = 0.08\text{eV}$ ($\text{FWHM} = 0.19\text{eV}$). 由于这种拟合依赖于 SBH 分布假设, 是间接的, 它只能提供一个有关 SBH 不均匀性的度量. 这里的 Co/Si 反应形成的 SBD 测试结果与 Co/Ti/Si 反应形成的超薄 CoSi₂/n-Si 接触结果是一致的^[24].

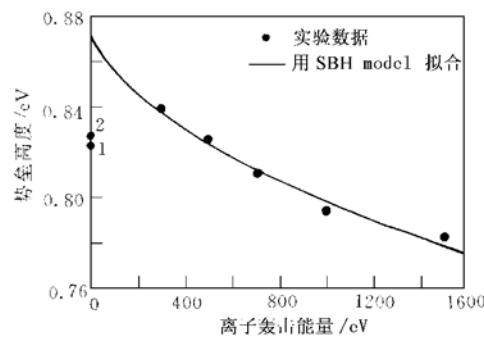


图 5 超薄 PtSi/n-Si 接触的 SBH 平均值与离子轰击能量的关系

FIG. 5 Average Value of SBH for Ultra-Thin PtSi/n-Si Versus Energy of Ion Bombard

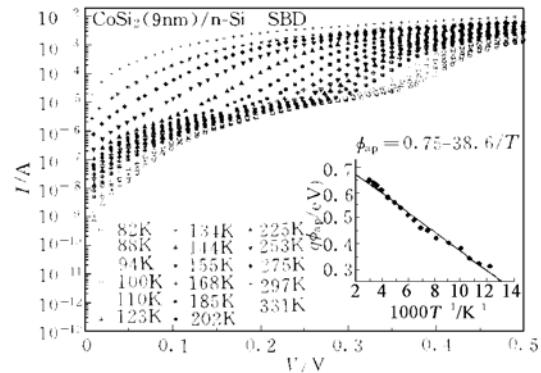


图 6 超薄 CoSi₂/n-Si SBD 的变温 I-V 特性

插图为从 I-V 特性拟合得到的表观势垒高度 ϕ_{ap} 随 $1/T$ 的变化关系.

FIG. 6 I-V Characteristic of Ultra-Thin CoSi₂/n-Si Under Different Temperature

The inset is the variation of the apparent SBH fitted by I-V with $1/T$.

为了直接观察 SBH 不均匀性, 用 BEEM 对超薄 CoSi₂/n-Si SBD 进行了测试. 由于 CoSi₂/n-Si 的 SBH 较低, 需要在低温下进行测量^[15, 16], 测试温度为 201K. 图 7 为典型的 CoSi₂/n-Si SBD 的 BEES, 插图则展示了其 SBH 分布. 从插图中可看出, SBH 确实存在着不均匀, SBH 基本上为一高斯分布. 但平均势垒高度约为 0.64eV, 比变温 I-V 测试推算出的值要低; 其 FWHM 约为 0.05eV, 也比变温 I-V 测试推算出的值要小. 正如上面指出的, 由变温 I-V 测量来推算 SBH 分布强烈依赖于 SBH 分布假设模型. 而根据 BEEM 测量得到的 SBH 实际分布往往与单个高斯分布有一定的差异, 在我们这个样品上测量得到的 SBH 分布左右并不对称, 只能近似看成一个高斯分布. 事实上通过 I-V 测量得到的 ϕ_{ap} - $1/T$ 关系也并不严格呈线性, 这也暗示着该样品的 SBH 并非为一简单的高斯分布, 从而使通过公式(4)提取的 ϕ_{av} 、 σ 等参数产生较大的误差. 因此, 当 SBH 存在着不均匀(在大多数情况下都是)时, BEEM 就成为一种直接而有效的肖特基接触表征手段.

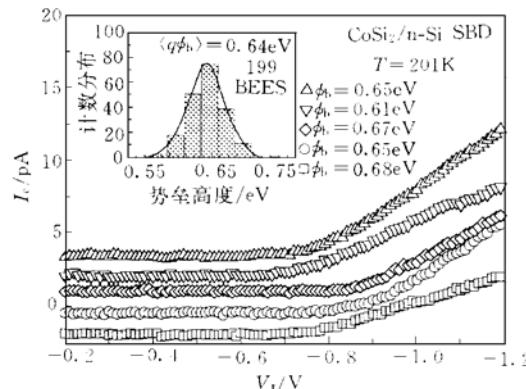


图 7 超薄 CoSi₂/n-Si SBD 的典型 BEES
插图为 SBH 分布.

FIG. 7 Typical BEES of Ultra-Thin CoSi₂/n-Si SBD
The inset is its SBH distribution.

4 结论

本文采用 BEEM 和 I-V/C-V 技术对超薄 PtSi/n-Si、CoSi₂/n-Si 肖特基接触特性进行了研究. 在探针接触式的 I-V/C-V 测试中, 超薄硅化物层形成的大串联电阻严重影响测试结果. 与此相对比, BEEM 测试不受串联电阻的影响, 可正确获得超薄金-半接触的接触特性. 研究了 Ar 离子轰击对 PtSi/n-Si 肖特基接触特性的影响, BEEM 测试结果表明, 随着离子轰击能力增大, 肖特基势垒高度降低, 其不均匀性也增大.

研究了超薄 CoSi₂/Si 肖特基特性, BEEM 测试可直接测得界面上的肖特基势垒高度分布, 近似为高斯分布。

致谢 作者感谢比利时根特大学固态科学系 F. Cardon 教授、R. L. Van Meirhaeghe 教授、C. Detavernier 博士和比利时 IMEC 微电子研究中心 K. Maex 教授和 R. A. Donaton 博士等人的有益讨论和在样品制备中的帮助。

参 考 文 献

- [1] J. Lin, S. Banerjee, J. Lee and C. Teng, IEEE Electron. Dev. Lett., 1990, **11**: 191.
- [2] L. Van den Hove, K. Maex, L. Hobbs, P. Lippens and R. De Keersmaecker, Appl. Surf. Sci., 1989, **38**: 430.
- [3] T. L. Lin, J. S. Park, S. D. Gunapala, E. W. Jones, H. M. Del Castillo, M. M. Weeks and P. W. Pellegrini, IEEE Electron. Dev. Lett., 1995, **16**: 94.
- [4] J. M. Mooney, J. Appl. Phys., 1988, **64**: 4664.
- [5] A. Climent and S. J. Fonash, J. Appl. Phys., 1984, **56**: 1065.
- [6] S. Ashok, T. P. Chow and B. J. Baliga, Appl. Phys. Lett., 1983, **42**: 687.
- [7] M. Ostling, C. S. Petersson, H. Norstrom, R. Buchta and H. -O. Bolm, J. Vac. Sci. Technol., 1987, **B5**: 586.
- [8] R. A. Donaton, S. Jin, H. Bender, M. Zagrebnev, K. Baert, K. Maex, A. Vantomme and G. Langouche, Microelectron. Eng., 1997, **37/38**: 507.
- [9] X. -P. Qu, G. -P. Ru, B. -Z. Li, C. Detavernier, R. L. Van Meirhaeghe and F. Cardon, Formation and Characterization of SPE Grown Ultra-Thin Cobalt Disilicide Film, MRS Spring Meeting, San Francisco, 1999.
- [10] E. H. Rhoderick and R. H. Williams, Metal-Semiconductor Contacts, 2nd ed., Oxford: Clarendon, 1988.
- [11] R. T. Tung, Schottky Barriers and Ohmic Contacts to Silicon, in Contacts to Semiconductors, ed. by L. J. Brillson, Park Ridge: NOYES, 1993, 176.
- [12] R. T. Tung, Phys. Rev. Lett., 1984, **52**: 461.
- [13] Y. P. Song, R. L. Van Meirhaeghe, W. H. Laflere and F. Cardon, Solid State Electron., 1986, **29**: 633.
- [14] R. T. Tung, Phys. Rev., 1992, **B45**: 13509.
- [15] W. J. Kaiser, L. D. Bell, M. H. Hecht and L. C. Davis, BEEM and the Characterization of Buried Interfaces, in Scanning Tunneling Microscopy and Spectroscopy: Theory, Technique and Applications, ed. by D. A. Bonnell, New York: VCH, 1993, 251.
- [16] M. Priestch, Phys. Rev., 1995, **253**: 163.
- [17] W. J. Kaiser and L. D. Bell, Phys. Rev. Lett., 1988, **60**: 1406.
- [18] L. D. Bell and W. J. Kaiser, Phys. Rev. Lett., 1988, **61**: 2368.
- [19] M. T. Cuberes, A. Bauer, H. J. Wen, D. Vandré, M. Prietsch and G. Kaindl, J. Vac. Sci. Technol., 1994, **B12**: 2422.
- [20] 刘平, 等, 半导体学报, 1992, **13**: 302[LIU Ping *et al.*, Chinese Journal of Semiconductors, 1992, **13**: 302(in Chinese)].
- [21] G. -P. Ru, C. Detavernier, R. A. Donaton, A. Blondeel, P. Clauws, R. L. Van Meirhaeghe, F. Cardon, K. Maex, X. -P. Qu, S. -Y. Zhu and B. -Z. Li, A BEEM Study of PtSi Schottky Contacts on Ion-Milled Si, MRS Spring Meeting, San Francisco, 1999.
- [22] G. -P. Ru, X. -P. Qu, S. -Y. Zhu, B. -Z. Li, C. Detavernier, R. L. Van Meirhaeghe, F. Cardon, R. A. Donaton and K. Maex, to be published in Journal of Vacuum Science B.
- [23] M. Goodman, J. Appl. Phys., 1963, **34**: 329.
- [24] 屈新萍, 茹国平, 徐蓓蕾, 李炳宗, 半导体学报(即将刊出)[QU Xinping, RU Guoping, XU Beilei and LI Bingzong, Chinese Journal of Semiconductors, to be published].