

氧离子注入硅 SOI 结构的椭偏谱研究*

梁中宁 莫 党

(中山大学物理系, 广州)

卢 殷 通

(北京师范大学低能核物理研究所)

1987年9月5日收到

本文利用椭偏光谱法测量了能量为 200keV、剂量为 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 的 $^{16}\text{O}^+$ 注入 Si 以及退火样品。应用多层介质膜模型和有效介质近似，分析了这些样品的 SIMOX 结构的各层厚度以及各层中的主要组份。提出了从椭偏谱粗略估算表层 Si 及埋层 SiO_2 厚度的简单方法。研究结果表明，这种条件下的 O^+ 注入 Si 可以形成 SIMOX 结构，经高温退火后，表层 Si 是较完整的单晶层，埋层 SiO_2 基本没有 Si 聚积物。椭偏谱的结果与背散射、扩展电阻测量和红外吸收光谱等结果作了比较。

主题词：椭偏光法，SOI 结构，SIMOX 结构，多层膜模型，有效介质近似，离子注入

一、引言

离子注入形成 SOI (silicon-on-insulator) 的技术是利用大剂量 O^+ (或 N^+ , Ar^+) 注入 Si 而形成氧化物(或氮、氩化物)埋层。一般称 O^+ 注入 Si 形成的 SOI 为 SIMOX (separation by implanted oxygen)^[1]。这种 SIMOX 结构在高速 CMOS、高性能超大规模集成电路和三维集成电路以及抗辐射器件等方面具有广泛的应用前景，其方法和应用可参考一些综述文献^[2,3]。

本工作首次用椭偏谱方法测量了能量为 200keV、剂量为 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 的 $^{16}\text{O}^+$ 注入 Si 及退火后的几种样品。椭偏谱测量波长范围为 2800—6200 Å (对应光子能量为 2.0—4.4eV)。我们利用三层膜模型(空气-粗糙表面等效层-表层 Si-埋层 SiO_2 -衬底 Si) 和 Bruggeman 有效介质近似，模拟分析了 SIMOX 的各层厚度以及各层中的主要组份，提出了从椭偏谱粗略估算表层 Si 及埋层 SiO_2 厚度的简单方法，通过分析 Si 和 SiO_2 厚度变化对椭偏参数的影响，解决了可能出现的周期性判别问题。对于 45-12 样品，由椭偏谱定出的厚度(取埋层 SiO_2 的折射率 $n_{\text{ox}} = 1.46$) 与背散射、扩展电阻测量和红外吸收光谱结果符合较好，表明找到了一个可以实用的对于 SIMOX 结构的椭偏谱分析步骤。

* 国家教委博士点基金资助课题

二、样品及测量

样品是〈100〉晶向n型Si单晶片，电阻率为 $4\text{--}8\Omega\cdot\text{cm}$ 。 O^+ 注入能量为200keV，剂量为 $2\times10^{18}\text{cm}^{-2}$ ，注入束流为70—100 μA ，真空度为 2×10^{-5} 托。热退火是在高纯N₂中进行。45-2是未经退火的样品，样品45-13经2小时温度为1180°C的热退火，45-12经同样条件的热退火后再注入As⁺(注入能量为100keV，剂量为 $5\times10^{15}\text{cm}^{-2}$)，然后用快速灯退火10秒，温度为1100°C。样品4-0是原始单晶Si片。

椭偏谱用TPP-1型椭圆偏振光谱仪^[4]测量。入射光子能量为2.0—4.4eV，入射角为70°，起偏器方位角置于45°。实验测出光电流的最大值 I_{\max} 和最小值 I_{\min} 以及对应 I_{\min} 的检偏器方位角 θ_{\min} 。经过简单的计算便可以求出椭偏参数 Ψ 和 Δ ^[5]。测量前样品作如下清洁处理：样品分别用甲苯、丙酮和乙醇除去表面有机杂质，再用1:10的HF溶液漂去样品表面自然氧化层。四个样品同时一次清洗，经过大约10小时后开始测谱，因为这时自然氧化层已达到稳定厚度，可以估算出其值约为20Å。

三、模型计算

本文利用多层膜模型以及Bruggeman有效介质近似，分析SIMOX结构的各层厚度和各层中的主要组份。分层介质的光学性质可以由特征矩阵描述，而 Ψ 和 Δ 可以从特征矩阵获得^[6]。有效介质近似是把均匀薄膜的微观结构与其宏观介电常数 ϵ 相联系。D.E. Aspnes曾发表文章^[7]对有效介质理论作了较详细的讨论。我们在本文中取用Bruggeman有效介质近似。

对于由a和b两相组成的系统，两相的体积分数分别为 f_a 和 f_b ， ϵ_a 和 ϵ_b 为对应相的介电常数，则系统的有效介电常数 ϵ 可以由下式求得：

$$f_a \frac{\epsilon_a - \epsilon}{\epsilon_a + 2\epsilon} + f_b \frac{\epsilon_b - \epsilon}{\epsilon_b + 2\epsilon} = 0 \quad (1)$$

这便是Bruggeman有效介质近似的表述，不难看出它对所有组份都是一视同仁的。

四、实验与计算结果

由实验测得SIMOX及单晶Si样品的椭偏谱如图1所示。由图可以看到45-13样品在2.0—3.0eV低能量区有很明显的干涉振荡，意味着已经形成层状结构。在3.0—4.4eV这个非振荡区， Ψ 谱与4-0单晶Si样品的 Ψ 谱基本重合，而 Δ 谱则相对单晶Si的 Δ 谱有一向下的平移。未退火的样品45-2也有类似的结果，但振幅比较经退火的样品的要小。以下我们要对SIMOX各层厚度作估算，并分析各层中的组份对椭偏谱的影响，找出 Δ 向下平移的主要原因，寻找用椭偏方法分析SIMOX厚度和组份的途径。

1. SIMOX厚度的粗估

下面我们先根据离子注入理论对SIMOX结构的厚度作一理论估算。此估算并非本

文后面作椭偏谱分析所必需的，仅是为了检验椭偏谱法的可靠性而进行几种不同比较中之一种，而且这是一种很粗糙的估算。大剂量 O^+ 注入 Si 形成 SIMOX 结构的基本过程是注入时 O^+ 从表面到体内随深度大约作高斯分布，随着剂量增加到临界值，则形成 SiO_2

埋层，这时氧的分布是一个平台形状^[2,3]。对于能量为 200 keV O^+ 注入 Si，可以算出其平均投影射程 R_p 及标准偏差 ΔR_p 分别为 4990 Å 和 1180 Å^[9]。当深度 x_p 约为 $R_p \pm 2\Delta R_p$ 时，按高斯分布的离子数较其峰值下降近一个量级，若取 $x_p = R_p + 2\Delta R_p$ 为 SIMOX 结构的深度，则这种 SIMOX 结构的厚度约为 7350 Å。

对于埋层氧化层厚度的上限也可以作估算。假设注入的 O^+ 全部与 Si 作用形成 SiO_2 ，且存在于 SiO_2 层之中，那么下式成立：

$$O^+ \text{注入剂量} / SiO_2 \text{厚度}$$

$$= 2SiO_2 \text{分子数} / \text{单位体积} \quad (2)$$

于是可以求得剂量为 $2 \times 10^{16} cm^{-2}$ O^+ 注入 Si 形成 SiO_2 的厚度 d_{ox} 的理论上限值为：埋层为结晶 SiO_2 时， $d_{ox} = 3765 \text{ \AA}$ ；埋层为熔融 SiO_2 时， $d_{ox} = 4528 \text{ \AA}$ 。实际上氧离子并非全部都与 Si 作用形成 SiO_2 并存在于 SiO_2 层之中，所以说这是一个上限估算值。

图 1 样品 4-0 Si 单晶和样品 45-13 的椭偏谱
——样品 4-0 ■—样品 45-13

此外，利用椭偏谱的振荡“周期” E_T ，可以估算 SIMOX 的厚度，其近似关系式为（其推导见下一节）：

$$d_{si}(2\alpha E + \beta + \alpha E_T) + \frac{1}{2} d_{ox} n_{ox} \cos \theta_{ox} = 2\pi \times 10^3 (eV \cdot \text{\AA}) / E_T \quad (3)$$

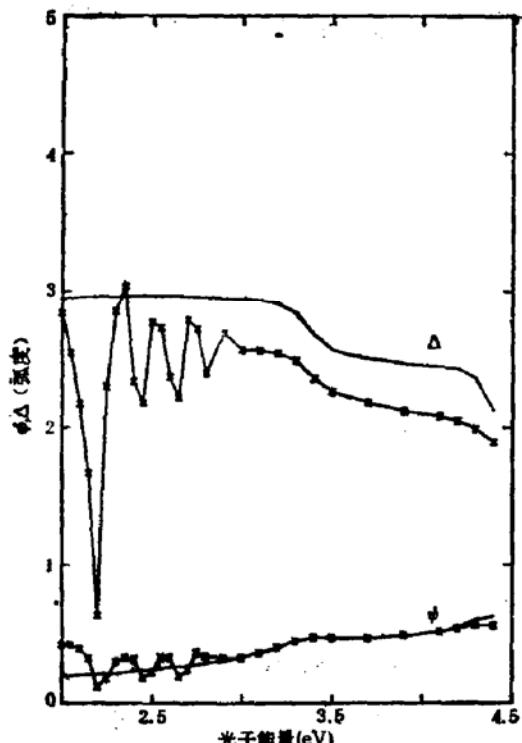
式中 d_{si} 、 d_{ox} 分别为表层 Si 及埋层 SiO_2 的厚度（单位为 Å）， n_{ox} 、 θ_{ox} 分别是 SiO_2 的折射率和折射角； E 为光子能量（单位为 eV）， α 和 β 是单晶 Si 折射率 n_{si} 在 2.0—2.8 eV 范围用 E 线性表示的斜率和截距，即 $n_{si} = \alpha E + \beta$ ，由 4-0 样品 Si 单晶 n_{si} 谱求得 $\alpha = 0.89 (eV)^{-1}$ ， $\beta = 2.15$ 。由（3）式可以看出 E_T 不仅是 d_{si} 和 d_{ox} 的函数，而且还是光子能量 E 的函数，这一点很容易从图 1 得到验证；由于 n_{si} 比 n_{ox} 大几倍，在 d_{si} 与 d_{ox} 可比的情况下，决定 E_T 的主要因素是单晶 Si 的厚度 d_{si} 。（3）式给我们一个直观简单的从振荡周期估计膜厚的方法，式中没有考虑表面自然氧化层或表面等效层是因为它很薄而对振荡周期的影响可以忽略。

应该指出，正如 Si 衬底上 SiO_2 膜的 Ψ 、 Δ 随膜厚增加呈现周期变化那样，SIMOX 结构中非吸收膜 SiO_2 的厚度 d_{ox} 对 Ψ 、 Δ 的影响也具有周期性，容易求得其周期为

$$d_T = 2\pi \times 10^3 (eV \cdot \text{\AA}) / n_{ox} \cos \theta_{ox} \cdot E \quad (4)$$

2. 厚度周期性影响的分析

由于薄膜的光程变化对椭偏参数的贡献会有周期性，正如（4）式所示，给结果分析带



来了一定的困难。为了解决这个问题, 我们利用多层膜模型(以下考虑两层膜: 表层 Si-埋层 SiO_2 -衬底), 分别令 d_{ox} 和 d_{Si} 变化, 观察其对振荡的影响, 不变的那一层的厚度给定为 3000 Å。分析结果作于图 2 和图 3 中。图 2(a) 和 (b) 分别表示 d_{ox} 和 d_{Si} 变化对 Δ 谱的影响, 很显然 2.0 eV 处 Δ 值随 d_{ox} 变化作周期为 2500 Å 的变化, 与(4)式计算结果相符(取 $n_{\text{ox}} = 1.55$); 而 Δ 随 d_{Si} 变大作衰减的振荡。图 3 是 Δ 谱的第二峰与第一峰的能量位置之差与 d_{Si} 的关系, 可以看出这一差值随 d_{Si} 近似作指数减小, 还伴有微小的振荡。以上分析结果提醒我们在分析 SIMOX 厚度时, 注意排除周期性的影响, 找出真解。

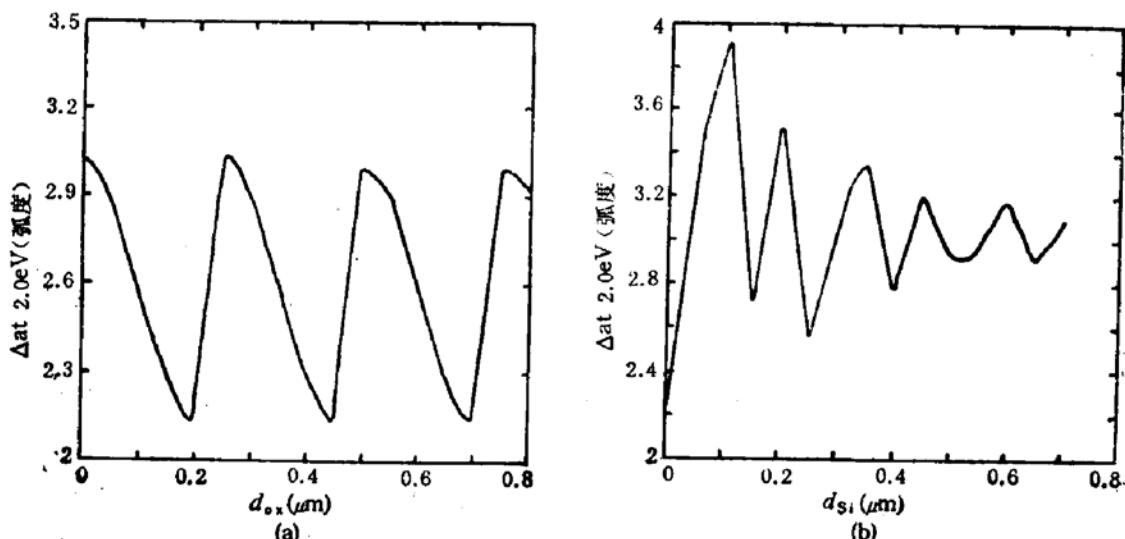


图 2 2.0 eV 处 Δ 随 d_{ox} 和 d_{Si} 变化
(a) d_{ox} 变化, $d_{\text{Si}} = 3000 \text{ \AA}$ (b) d_{Si} 变化, $d_{\text{ox}} = 3000 \text{ \AA}$

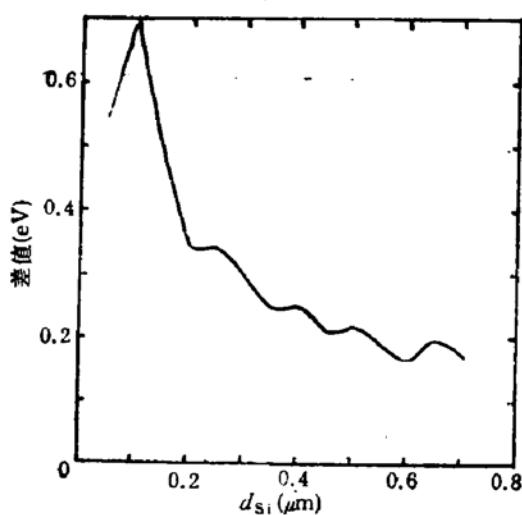


图 3 Δ 谱第二峰与第一峰差值随 d_{Si} 变化, $d_{\text{ox}} = 3000 \text{ \AA}$

3. 组份变化影响的分析

为了分析各层组份变化以及表面自然氧化层厚度变化对椭偏谱的影响, 我们分别对每一因素的影响进行分析计算, 分析计算利用了三层膜模型结合 Bruggeman 有效介质近似, 当某层中体积分数改变时, 其它两层为纯单相层。三层膜由衬底向外算, 埋层 SiO_2 为

第一层，表层 Si 为第二层，表面自然氧化层(或粗糙等效层)为第三层。各层厚度给定值依次为 3000-3000-50 Å, SiO_2 的折射率 $n_{\text{ox}} = 1.46$ 。分析结果表明，椭偏谱振荡周期及振幅除了对表层 Si 和埋层 SiO_2 的厚度灵敏之外，还对表层 Si 中所含 SiO_2 组份颇灵敏，另外，振幅还受埋层 SiO_2 中的 Si 组份影响；表面氧化层中的 Si 组份和埋层 SiO_2 中的 Si 组份增加，都会引起整个能量范围的 Δ 和 Ψ 下降，而表面氧化层厚度的增加会导致 Δ 下降和 Ψ 上升。根据以上分析，我们可以断定实验结果图 1 中 45-13 样品在非振荡区的 Δ 值相对单晶 Si Δ 谱的平移下降的主要原因是粗糙表面，而不可能完全由自然氧化层厚度所引起，因为当仅是一层自然氧化层使 Δ 谱与实验曲线相符时，则 Ψ 谱就会被抬高，偏离实验值了。粗糙表面可能是因为注入时样品未复盖一层保护层(如热氧化层)而受离子直接轰击所致。

4. 实验与计算结果

基于以上所述厚度、组份对椭偏谱的影响的分析，我们找到了一个求解的基本步骤：(1) 把表面氧化层及表面粗糙等效成自然氧化物与 Si 混合层，根据 Ψ 、 Δ 在 3.0-4.4 eV 范围与单晶 Si 谱的差别找出表面等效层的厚度 d_{ox} 及其组份的体积分数；(2) 粗估 d_{ox} ，利用(3)式求出 d_{Si} ，调整 d_{ox} 和 d_{Si} 使计算的 Ψ 、 Δ 谱振荡的峰值位置及振幅与实验值接近；(3) 改变表层 Si 和埋层 SiO_2 中组份，并作整体调整，使计算与实验曲线基本重合。

表 1 是我们利用三层膜模型和 Bruggeman 有效介质近似对几个样品作分析的结果。埋层 SiO_2 的折射率单用椭偏方法是难以确定的，因为其厚度未知，而对椭偏参数有贡献的是光学厚度 nd ，因此这里分别取 1.46 和 1.55 作为 SiO_2 的折射率，以便与其它实验结果比较，判断 SiO_2 的结构。样品 45-2 的埋层 SiO_2 中含 Si，但这 Si 组份可能主要存在于 Si 与埋层 SiO_2 界面中，对此单用三层模型是不够的，进一步的工作可以利用最优化计算方法结合多层模型和有效介质近似进行模拟计算，这样可以了解界面的情况。

表 1 45-系列样品的计算结果

| 样品编号 | 埋层 SiO_2 (Å) | | 表层 Si (Å) | 表面等效层 (Å) |
|-------|--|--|-----------|---|
| | $n = 1.46$ | $n = 1.55$ | | |
| 45-12 | 3450 | 3200 | 3050 | 40($0.80\text{SiO}_2 + 0.20\text{Si}$) |
| 45-13 | 3700 | 3500 | 3550 | 60($0.75\text{SiO}_2 + 0.25\text{Si}$) |
| 45-2 | 3650 ($0.70\text{SiO}_2 + 0.30\text{Si}$) | 3500 ($0.70\text{SiO}_2 + 0.30\text{Si}$) | 3400 | 105($0.70\text{SiO}_2 + 0.30\text{Si}$) |

图 4 是样品 45-13 的计算结果与实验结果的比较。可以看到两个结果的振荡周期、振幅以及形状都是基本相符的。对于 45-12 和 45-2 样品也有类似的结果。由于所用的是三层膜模型和有效介质近似，把每层中的组份认为是均匀地分布于给定的层中，这是带来误差的主要因素。样品 45-12 的扩展电阻测量结果如图 5 所示，埋层氧化物的电阻率 $\rho > 10^4 \Omega \cdot \text{cm}$ 。可以看出埋层 SiO_2 与表层 Si 和衬底的界面是比较陡的。对于 45-12 样品，我们还用 3MeV 的 He^+ 作了背散射分析，还作了红外吸收光谱分析。几种分析所得

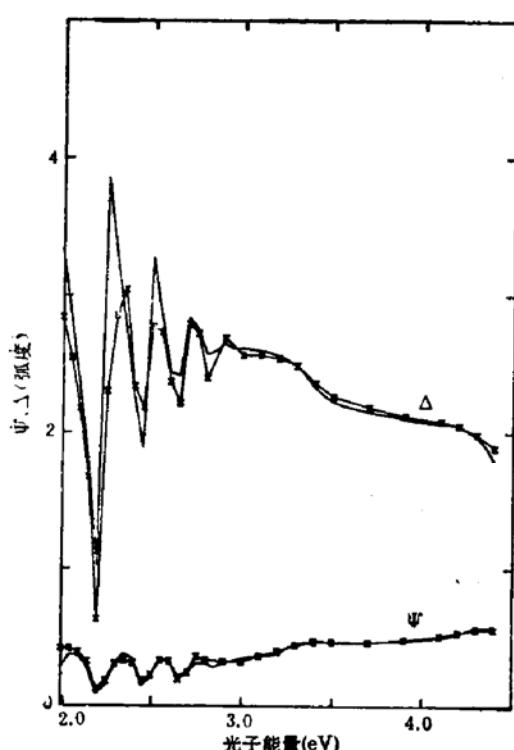


图 4 样品 45-13 的计算结果与实验结果比较, $n_{ox} = 1.46$
—计算值 —实验值

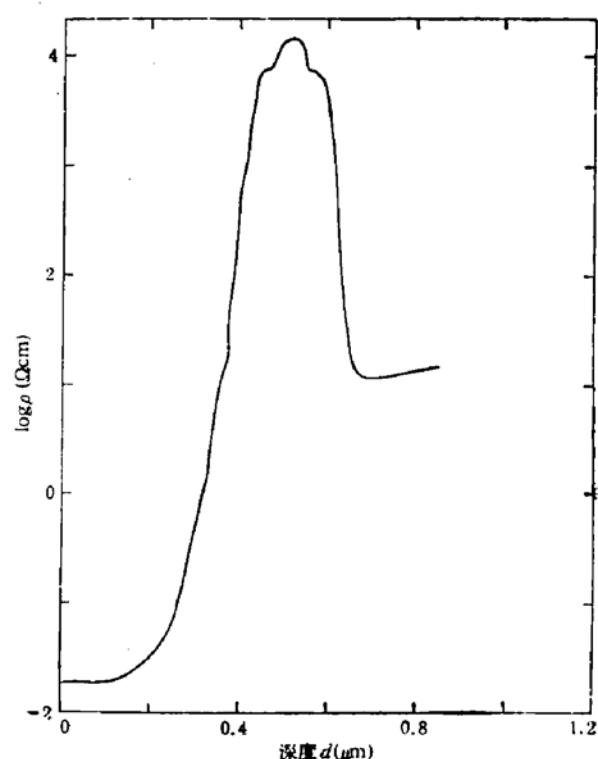


图 5 45-12 样品的扩展电阻测量结果

表 2 几种方法所得的样品 45-12 的 SIMOX 厚度

| 方 法 | 埋层 SiO_2 厚度 (Å) | 表层 Si 厚度 (Å) |
|------|--------------------------|--------------|
| 背散射 | 3500 | 3240 |
| 扩展电阻 | 3400 | 3000 |
| 红外吸收 | 3450 | — |
| 椭偏光谱 | 3450 | 3050 |

到的厚度列于表 2 中, 结果符合较好。与椭偏测量结果比较, SiO_2 折射率 $n_{ox} = 1.46$ 较为合适, 这是熔融石英的折射率^[10]。红外吸收光谱表明: 高温退火后 SIMOX 样品埋层 SiO_2 结构紧密, 光谱三个特征峰和热生长 SiO_2 或熔融石英的三个 SiO_2 特征峰相同。X 射线双晶衍射结果表明表层单晶 Si 晶格畸变率 $\Delta a/a = 2.2 \times 10^{-4}$, 和原始单晶相近, 而埋层 SiO_2 仍为无序层, 没有形成晶体状态。这些工作将另文发表。

五、估计膜厚近似式的推导

两层膜系统, 总反射系数可以表示成为:

$$r = \rho e^{i\delta_r} = \frac{r_{12} + r_{23}e^{2i\delta_2} + r_{34}e^{2i(\delta_3+\delta_4)} + r_{12}r_{23}r_{34}e^{2i\delta_3}}{1 + r_{12}r_{23}e^{2i\delta_2} + r_{12}r_{34}e^{2i(\delta_3+\delta_4)} + r_{23}r_{34}e^{2i\delta_3}}, \quad (5)$$

其中 $r_{ij} = \rho_{ij}e^{i\phi_{ij}}$ 表示第 i 介质与第 j 介质的界面的反射系数, 其表达式见文献[5], δ_i

和 δ_2 分别表示由第一和第二层膜所产生的相邻反射光束的位相差，令

$$\eta = \frac{2\pi}{\lambda_0} d_2 = \frac{10^{-3}}{2} E d_2 (\text{eV} \cdot \text{\AA})^{-1}$$

且

$$\tilde{n}_2 \cos \tilde{\theta}_2 = u_2 + i v_2$$

则

$$\delta_2 = \frac{2\pi}{\lambda_0} d_2 \tilde{n}_2 \cos \tilde{\theta}_2 = \eta \cdot (u_2 + i v_2) \quad (6)$$

于是(5)式可以写成以下形式：

$$r = \rho e^{i\theta} = \sum_j A_j e^{i\alpha_j} / \sum_j B_j e^{i\beta_j} \quad (7)$$

式中 $A_j, \alpha_j, B_j, \beta_j$ 均为实数。上式写成实部与虚部之和则

$$r = \frac{\sum_{i,j} A_i B_j \cos(\alpha_i - \beta_j) + I \sum_{i,j} A_i B_j \sin(\alpha_i - \beta_j)}{\sum_{i,j} B_i B_j \cos(\beta_i - \beta_j)} \quad (8)$$

式中 $I = \sqrt{-1}$ ，于是我们得到总反射率和位相差为：

$$R = |r|^2 = \frac{\sum_{i,j} A_i A_j \cos(\alpha_i - \alpha_j)}{\sum_{i,j} B_i B_j \cos(\beta_i - \beta_j)} \quad (9)$$

$$\tan \delta_r = \frac{\sum_{i,j} A_i B_j \sin(\alpha_i - \beta_j)}{\sum_{i,j} A_i B_j \cos(\alpha_i - \beta_j)} \quad (10)$$

经过一些简单的运算便可以求得 R 和 $\tan \delta_r$ 。然而，我们的目的是要了解振荡周期与光学厚度的关系，因而不去求 R 和 $\tan \delta_r$ 的解析式，而是寻找其中对振荡周期起主要作用的项。我们考虑的是 SIMOX 系统，有 $\tilde{n}_1 = \tilde{n}_2$ 为单晶 Si 复折射率，从而 $\tilde{\theta}_1 = \tilde{\theta}_2$ ，很明显有 $\rho_{11} = \rho_{22}$, $\tan \phi_{11} = \tan \phi_{22}$ ，但 $\phi_{22} = \phi_{11} + \pi$ 。经过对 ϕ_{11} 和 ρ_{11} 的定量分析，作为近似可以略去 ρ_{11} 的 4 次方项（其中包括 $\rho_{11}^3 e^{-2\pi i \eta}$ ），我们得到以下近似式：

$$\begin{aligned} \tan \delta_r \approx & \left[\rho_{11} \sin \phi_{11} + 2 \rho_{12} e^{-2\pi i \eta} \cos \left(\phi_{22} + 2u_2 \eta + \frac{2\pi}{\lambda_0} n_3 d_3 \cos \theta_3 \right) \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} n_3 d_3 \cos \theta_3 \right) \right. \\ & \left. - 2 \rho_{12} \rho_{23} \sin \phi_{11} \cos \left(2\phi_{22} + \frac{4\pi}{\lambda_0} n_3 d_3 \cos \theta_3 \right) \right] / \left[\rho_{11} \cos \phi_{11} + 2 \rho_{12} e^{-2\pi i \eta} \sin \right. \\ & \times \left(\phi_{22} + 2u_2 \eta + \frac{2\pi}{\lambda_0} n_3 d_3 \cos \theta_3 \right) \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} n_3 d_3 \cos \theta_3 \right) \\ & + 2 \rho_{12} \rho_{23} \cos \phi_{11} \sin \left(2\phi_{22} + \frac{4\pi}{\lambda_0} n_3 d_3 \cos \theta_3 \right) \right] \quad (11) \end{aligned}$$

$$R \approx \left[\rho_{11} + 4 \rho_{12} \rho_{23} e^{-2\pi i \eta} \sin \left(\phi_{22} + 2u_2 \eta + \frac{2\pi}{\lambda_0} n_3 d_3 \cos \theta_3 - \phi_{11} \right) \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} n_3 d_3 \cos \theta_3 \right) \right] /$$

$$\left[1 + 4\rho_{12}\rho_{23}e^{-2u_2\eta} \sin \left(\phi_{23} + 2u_2\eta + \frac{2\pi}{\lambda_0} n_3 d_3 \cos \theta_3 + \phi_{12} \right) \sin \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} n_3 d_3 \cos \theta_3 \right) \right. \\ \left. - 2\rho_{23}^2 \cos \left(2\phi_{23} + \frac{4\pi}{\lambda_0} n_3 d_3 \cos \theta_3 \right) \right] \quad (12)$$

在振荡区 ϕ_{ij} 基本为常数, 而单晶 Si 的 n_2 为 SiO_2 的 n_3 的几倍, 由于所考虑的 SIMOX 系统中 d_2 和 d_3 可比, 所以(11)式中分子或分母中第二项的振荡周期比第三项的小几倍, 后者起着一个调制作用, 决定 $\tan\delta$, 振荡周期的主要因素为 $2u_2\eta + \frac{2\pi}{\lambda_0} n_3 d_3 \cos \theta_3$ 。这一结果对 R 也是相同的。当 k_2 较小时, $u_2 \sim n_2$, 而 $n_2 = \alpha E + \beta$, 因此由正弦函数的周期性可以求出其周期与光学厚度的关系:

$$d_2(2\alpha E + \beta + \alpha E_T) + \frac{1}{2} n_3 d_3 \cos \theta_3 = \frac{2\pi \times 10^3}{E_T} (\text{eV} \cdot \text{\AA}) \quad (13)$$

以上(11)和(12)式中决定 $\tan\delta_r$ 和 R 振荡周期的主要因素对 S 和 P 光是相同的, 因为与 S 和 P 波有关的只是 ϕ_{ij} 和 ρ_{ij} , 而它们对振荡周期基本没有贡献。对于椭偏参数, $\tan\psi = |r_p|/|r_s|$, $\Delta = \delta_{sp} - \delta_{ss}$, 由周期函数的性质可以证明 ψ 和 Δ 与 δ_{sp} 和 R 具有相同的振荡周期, 因此(13)式就是由椭偏谱的振荡周期估计膜厚的近似式。

六、结 论

在方法上:

1. 用椭偏谱方法, 结合多层膜模型和有效介质近似, 可以分析 O^+ 注入 Si 形成的 SIMOX 结构。
2. 通过分析各层组份和厚度、粗糙表面等各因素对椭偏谱的影响, 以及与厚度有关的周期性分析, 找到一个可实用的对于 SIMOX 结构的椭偏谱的分析步骤。
3. 导出由椭偏谱的振荡周期估算膜厚的近似解析式。

在应用上:

1. 能量为 200keV、剂量为 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ 的 O^+ 注入 Si 可以形成 SIMOX 结构。椭偏参数谱在 2.0—3.0eV 范围出现振荡, 表明层状结构的存在, 而且在这个范围吸收系数很小; 另外, 在 3.0—4.4eV 范围仍保留单晶 Si 的形状, 充分说明表面层基本上是单晶 Si 层。
2. Δ 谱相对单晶 Si 的 Δ 谱有平移下降, 原因主要是表面粗糙层的影响。
3. 未退火的样品的埋层 SiO_2 中含有少量的 Si 成份; 经退火后, 表层 Si 是较为完整的单晶 Si, 埋层 SiO_2 中基本没有 Si 聚积物。对于 45-12 样品, 取 SiO_2 的折射率 $n_{ox} = 1.46$, 由椭偏谱定出的 SIMOX 厚度与背散射、红外吸收光谱、扩展电阻测量结果以及离子注入原理估算值符合较好, 表明埋层 SiO_2 是无序层。这一点与红外吸收光谱及 X 射线双晶衍射的观测结果一致。

参 考 文 献

- [1] K. Izumi, M. Doken and H. Ariyoshi, *Jpn. J. Appl. Phys. Suppl.*, 19-1, 151(1980).

- [2] I. H. Wilson, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.*, **B1**, 331(1984).
[3] R. F. Pinizzotto, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, **27**, 265(1984).
[4] 江任荣,陈树光,叶贤京,莫党,仪器仪表学报,4,440(1983).
[5] 莫党,陈树光,余玉贞,黄炳忠,物理学报,29,673(1980).
[6] Max Born and Emil Wolf, *Principles of Optics*, 6th ed., ch. 1, Pergamon Press (1980).
[7] D. E. Aspnes, *Thin Solid Films*, **2**, 249(1982).
[8] R. F. Pinizzotto, *J. Cryst. Growth*, **63**, 559(1983).
[9] James, F. Gibbons, *Projected Range Statistics*, (1975).
[10] I. H. Matliss, *J. Opt. Soc. Am.*, **55**, 1205(1965).

Spectroellipsometric Study of Silicon-on-Insulator by Oxygen Ion Implantation

Liang Zhongning, Mo Dang

(Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou)

Lu Diantong

(Institute of Low Energy Nuclear Physics, Beijing Normal University)

Abstract

Spectroellipsometry in visible-uv region (2.0—4.4 eV) has been used to investigate the silicon-on-insulator(SOI) structures formed by oxygen ion implanted into silicon at an energy of 200 keV and a dose of $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$, and into the corresponding annealed samples. Using a multilayer model and the Bruggeman effective medium approximation, we have analysed the thicknesses and compositions of the SOI structures. We have also presented a simple equation to estimate the thicknesses of the SOI structure. Having been compared with the results determined by the Rutherford backscattering, spreading resistance probe and infrared absorption measurements, our experiment results show that, after high temperature annealing, the top layer of the SOI structure is close to a nearly perfect single crystal of silicon and the buried SiO_2 is in a disorder phase.

Key words: Ellipsometry, SOI structure, SIMOX structure, Multilayer model, Effective medium approximation, Ion implantation