

異方性を有する自立シリコン板における音響フォノン散乱 Acoustic Phonon Scattering in Free-standing Anisotropic Silicon Plates

阪大院工 ○森 伸也

Osaka Univ., Nobuya Mori

E-mail: mori@physics.org

極微細 MOSFET において、短チャネル効果を抑制するためには、ナノメートルスケールの極薄チャネルの導入が必要となる。そのような、極薄チャネルでは、電子状態のみならず、音響フォノンモードも変調を受けるため、電子フォノン相互作用は、バルクにおけるフォノンモードを仮定した場合とは一般的には異なる。これまでに、Si を等方的な弾性体と近似した範囲で、変調音響フォノンと電子との相互作用が調べられてきた [1, 2]。しかし、実際は、Si 結晶は異方性を有している。そこで、本研究では、Si 結晶の異方性が音響フォノン散乱に与える影響について調べた。

表面が (001) 面、厚さ w の自立した Si 板を考察した (Fig. 2 の挿入図参照)。音響フォノンモードは、クリストッフェルの方程式 [3] を解くことにより求めた。その際、表面には自由端の境界条件を課した。Fig. 1 に分散関係を示す。実線は xy 面に関して対称なモード、点線は反対称なモードを表す。また、Fig. 1(a) は、フォノンの面内波数ベクトル $\mathbf{q} = (q_x, q_y)$ が [100] 方向を向いている場合、Fig. 1(b) は、[100] 軸と 30° の角を成す場合の結果である。図には、バルク結晶における縦波・横波の分散関係を、それぞれ、赤・青破線で示した。バルク結晶における縦波・横波の音速が異方性を示すことに対応して、スラブフォノンの分散関係も異方性を示すことがわかる。

幅 w の無限量子井戸に閉じ込められた電子の基底状態 (2 重縮退バレー) のみを考慮して、音響フォノン散乱のみで定まる電子移動度を、弾性散乱近似・等分配近似を用いて計算した。その際、変形ポテンシャル定数は、バレーの長軸方向に $\Xi_d + \Xi_u$ 、短軸方向に Ξ_u とした。ここで、 Ξ_d 、 Ξ_u は、それぞれ、膨張・せん断変形ポテンシャル定数である。得られた移動度を、等方的変形ポテンシャル定数 D_{eff} に換算した。Fig. 2 に、 D_{eff} の井戸幅 w 依存性を示す。スラブフォノンの結果とバルクフォノンの結果とを示した。実線は結晶の異方性を考慮した場合、破線は等方的弾性体を仮定した場合 [2] の結果である。結晶の異方性が無視できないこと、および、スラブフォノンを仮定すると、比較的厚い w の領域まで、 D_{eff} が大きな値を示すことなどがわかった。

[1] H. Ezawa *et al.*, JJAP **13**, 126 (1974). [2] S. Uno and N. Mori, JJAP **46**, L923 (2007). [3] 浜口智尋, 固体物性 上, 丸善.

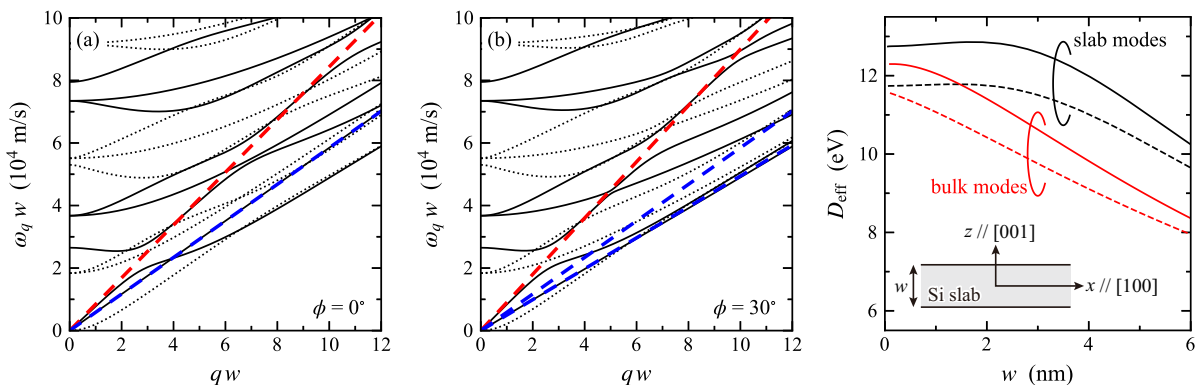


Fig. 1 [left, center]: Dispersion relation of the slab modes in a Si plate for propagation along [100] (a) and 30° off the [100] axis (b). Solid lines represent the symmetric modes and dotted lines the antisymmetric modes. Red and blue dashed lines show the bulk (quasi-)longitudinal and (quasi-)transverse modes, respectively.

Fig. 2 [right]: Effective deformation potential constant as a function of the slab thickness for the slab (black) and the bulk modes (red). Solid lines show D_{eff} for the anisotropic Si plate and dashed lines for an isotropic Si model.