

氏名 奥野祥二

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第114号

学位授与の日付 平成7年3月23日

学位授与の要件 数物科学研究科 加速器科学専攻  
学位規則第4条第1項該当

学位論文題目 Stacked Dielectric Films for a Double-sided  
Silicon Microstrip Detector

論文審査委員 主査教授 渡瀬芳行  
助教授 松田武  
助教授 菅原龍平  
助教授 宮島光弘  
助教授 池田博一  
教授 高崎史彦

（高エネルギー物理学研究所）

Owing to two mechanisms, stacked dielectric film flew less leakage current. We required the current conservation for two-layered dielectric film, and we estimated the current in the dielectric film using both the current according to Fowler–Nordheim emission and that according to Poole–Frenkel emission, previously extracted. We understood that the thinner  $\text{SiO}_2$  layer on the side of electron injection passed less current.

We found that ONO was more useful than thick single-layered  $\text{SiO}_2$ ; the leakage currents for single-layered  $\text{SiO}_2$  and ONO dielectric film were  $7.0 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$  and  $1.0 \times 10^{-10} \text{ A/cm}^2$  at  $7 \text{ MV/cm}$ , respectively. We proposed the current conduction mechanism in ONO dielectric film. We required to conserve the current density, the electric flux density and the voltage drops. Then we solved the current density in ONO dielectric film, surface charges between  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Si}_3\text{N}_4$  and electric field for each dielectric film by selfconsistency.

Finally we estimated the property of time dependent dielectric breakdown using the current which was obtained from previous result of the current conduction of ONO dielectric film.

We can therefore conclude regarding the leakage current that the better dielectric film is the ONO type, which is covered with thin  $\text{SiO}_2$  dielectric films with less defects.

Recently the silicon vertex detector is important device to achieve fine position resolution and quick response for especially collider beam experiments. The double-sided silicon microstrip detectors have been developed when we require two dimensional fine position information.

The dielectric film for integrated ac coupled capacitor for double-sided silicon microstrip detectors (DSSDs) have serious problems, about productivity without no defects such pin holes and long-term reliability. Since we prevent the problems, stacked thick dielectric films have been developed so as to be applied to a DSSD. We expected that these stacked films would have superior properties for an integrated capacitor in terms of a high dielectric breakdown characteristic, productivity, long-term reliability, a large capacitance. Since defects with each films in the stacked dielectric film hardly difficult to meet each other at the same position, the stacked dielectric film has less pin holes.

Some SSDs have been used the oxide-nitride(ON) stacked dielectric films. We, however, did not give the systematic study for the stacked dielectric films. This thesis describe the systematic study for the current transport in the stacked dielectric film.

We made simple circular dot capacitor with 4 sizes, and measured the properties of capacitor. Each capacitance measured and the thickness of dielectric films. The capacitance using oxide-nitride-oxide (ONO) dielectric film was approximately 1.7-times larger than that of single-layered  $\text{SiO}_2$ .

When we applied voltage to inversion-direction, the leakage current became small owing to the rejection of the majority carrier from insulator and the development of the depletion region. When we applied voltage to accumulation-direction for  $\text{SiO}_2$ , the leakage current for hole injection from a substrate was less than that for electron injection from a substrate.

The leakage current in  $\text{SiO}_2$  flows by the Fowler-Nordheim emission owing to tunneling at cathode electrode by electrons. We extract the effective electron mass in  $\text{SiO}_2$  conduction band.

The leakage current in  $\text{Si}_3\text{N}_4$  flows by the Poole-Frenkel emission owing to conduction with the internal Schottky emission by holes. We extract the constant for each thickness  $\text{Si}_3\text{N}_4$ .

## 論文審査結果の要旨

本論文で扱われたシリコンマイクロストリップ検出器は、高エネルギー物理実験での粒子飛跡の測定に数年前から本格的に利用され、改良されてきている。シリコン半導体上に数十ミクロンのピッチで形成される不純物層のストリップによって、半導体中での放射線による電離電子及びホールが空乏層中の電場によって、移動し、ストリップに収斂されて、電子パルス信号となる。粒子飛跡の2次元座標の測定のために、ストリップをシリコン半導体の両面に異なる方向に形成する両面読み出し検出器(Double Sided Silicon Detector)が今後の主流になるであろう。この際、問題となる検出器への直流バイアス電圧が前置増幅器に直接かからないようにするために、交流結合するとき、ストリップのうえに形成する絶縁薄膜の耐性が検出器の寿命に直接影響する。十分な容量と高電界での絶縁特性のよい、シリコン酸化膜とシリコン窒化膜の多層膜構造を採用し、その電導メカニズムを多数の系統的な試料膜で測定を行った。その結果を解析し電導メカニズムのモデル化を行い、測定結果と比較して、定量的に電導機構を解明した。それを応用することで、絶縁膜の寿命についての測定の可能性を示唆した。このような成果は、今後のシリコン・ストリップ検出器の製作の指針を与えるものである。

この論文で行われている実験経過及び理論的な解析について、公式非公式をあわせて4回にわたり審査の会合が行われた。その中で、微小電流の測定における表面リークやエッジ効果の評価や印加電界の測定値の信頼性と実験手順について具体的な審議が行われた。いずれも、論文の内容の範囲で問題がないことを確認した。電導機構のモデル化について、シリコン酸化膜、シリコン窒化膜それぞれ単独の印加電界に対する電流密度の振る舞いが、それぞれ、電極上の薄膜でのトンネル電流によるFowler-Nordheim Emission効果であり、価電帯中のホールの熱励起によるPoole-Frenkel Emission効果であることを定量的に確認できている。これをベースに多層膜での電気電導について、層間の界面での定在電荷密度をパラメータとして、電流の連続性の条件のもとに定式化を行った。これを2層膜に適用して、実験値を再現するような定在電荷密度パラメータもとめた。これを3層膜にも適用し、実験結果を再現した。この結果で、絶縁膜同士の界面での電子のトンネル電流の定式化に新しい知見が得られている。この定式化の適用範囲について吟味が行われ、シリコン酸化膜換算での実効電界で、約12 MV/cm以下であれば適用できる。この範囲でシリコン酸化膜の絶縁破壊が、その中を通過する積分ホール電荷総量でほぼ決まることから、上で得られたモデルからホール電流を積分して、絶縁破壊まで寿命を予測している。

以上の細部に亘る審査の結果、このような着想での詳細で、かつ系統的な研究結果は新しい学術的な価値があると判断し博士論文として合格とした。